

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA,  
METALURGICA Y GEOGRAFICA**

**E.A.P DE INGENIERIA GEOLÒGICA**

**Cinturones metalogénicos cenozoicos en Pasco y  
Huánuco: tipos de yacimientos y naturaleza  
geoquímica de los magmas asociados**

**TESIS**

para optar el Título profesional de Ingeniero Geólogo

**AUTOR**

Gisela Rossana Cobeñas Benites

**ASESOR**

César Orbegozo Perret

**Lima – Perú**

**2008**

**Asesor:** Ing. César Orbegozo Perret

**Jurado:** Ing. Hugo Rivera Mantilla (Presidente)

Ing. Miguel Rivera Feijoo

Ing. César Orbegozo Perret

Junio 2008

*A Dios, a Grisel, Pedro y Pedrin por todo su amor y apoyo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar y muy especialmente agradezco a Ronner Bendezú quien me sugirió el tema de tesis y me ha asesorado durante el completo desarrollo de este trabajo. Gracias por su tiempo dedicado, por su ayuda en el campo y por sus observaciones críticas.

Agradezco también a Sociedad Minera El Brocal SAA, a través de su Gerente General Ing. Ysaac Cruz y su Gerente de Operaciones Ing. Víctor Gobitz, por el apoyo financiero en los análisis químicos y preparación de secciones delgadas.

Al Ing. Orbegozo de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por el asesoramiento y la revisión de este trabajo. Agradezco también a los ingenieros Hugo Rivera y Miguel Rivera por la revisión de este trabajo en su calidad de jurados.

Y al departamento de Geología de Sociedad Minera El Brocal SAA a través de su jefe de exploraciones Ing. Carlos Yacila por su constante apoyo.



# CONTENIDO

## Agradecimientos

<b>Resumen</b>	1
----------------	---

<b>Capítulo I</b>	3
-------------------	---

1. Generalidades	3
------------------	---

1.1 Introducción	3
------------------	---

1.2 Objetivos	5
---------------	---

1.3 Métodos de trabajo	6
------------------------	---

1.4 Trabajos previos	7
----------------------	---

1.5 Ubicación y Acceso	8
------------------------	---

<b>Capítulo II</b>	9
--------------------	---

<b>2. Contexto Geológico</b>	9
------------------------------	---

<b>2.1 Geología general de la región de estudio</b>	9
---	---

<b>2.1 Cinturón Quicay-Pacoyán: (38-34 Ma).</b>	13
---	----

2.1.1 Estratigrafía y marco tectónico-estructural	13
---	----

2.1.2 Rocas magmáticas	16
------------------------	----

2.1.3 Metalogenia	18
-------------------	----

<b>2.2 Cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos (29-26 Ma)</b>	19
---	----

2.2.1 Estratigrafía y marco tectónico-estructural	19
---	----

2.2.2 Rocas magmáticas	25
------------------------	----

2.2.3 Metalogenia	26
-------------------	----

<b>2.3 Cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca (15-10 Ma)</b>	33
---	----

2.3.1 Estratigrafía y marco tectónico-estructural	33
---	----

2.3.2 Rocas magmáticas	38
------------------------	----

2.3.3 Metalogenia	40
-------------------	----

<b>Capítulo III</b>	48
---------------------	----

<b>3. Petrografía de las rocas magmáticas</b>	48
---	----

<b>3.1 Cinturón Quicay-Pacoyán</b>	48
------------------------------------	----

<b>3.2 Cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos</b>	49
--	----

<b>3.3 Cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca .....</b>	<b>53</b>
<b>Capítulo IV .....</b>	<b>55</b>
<b>4. Química de las rocas magmáticas .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1 Cinturón Quicay-Pacoyán .....</b>	<b>55</b>
4.1.1 Elementos mayores .....	55
4.1.2 Elementos traza y contenido en tierras raras .....	58
<b>4.2 Cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos .....</b>	<b>61</b>
4.2.1 Elementos mayores .....	62
4.2.2 Elementos traza .....	63
<b>4.3 Cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca .....</b>	<b>65</b>
4.3.1 Elementos mayores .....	65
4.3.2 Elementos traza y contenido en tierras raras .....	67
<b>Capítulo V .....</b>	<b>71</b>
<b>5.1. Discusión.....</b>	<b>71</b>
<b>5. 2 Conclusiones .....</b>	<b>78</b>
<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>80</b>
<b>Apéndices.....</b>	<b>85</b>
<b>Petrografía de muestras de rocas magmáticas de la región de estudio .....</b>	<b>86</b>
<b>Cinturón Quicay-Pacoyán .....</b>	<b>87</b>
• Muestra QU-01	
• Muestra QU-02	
• Muestra QU-03	
• Muestra RA-011071	
• Muestra RA-011075	
• Muestra RA-011078	
• Muestra RA-011084	
<b>Cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos .....</b>	<b>103</b>
• Muestra VI-01	
• Muestra VI-02	
• Muestra VI-03	
<b>Cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca .....</b>	<b>109</b>
• Muestra CPR-602	
• Muestra CPR-603a	
• Muestra CPR-604	
• Muestra CPR-472b	
• Muestra PBR-145	

- Muestra PBR-148
- Muestra CP-01
- Muestra CP-02
- Muestra YA-02
- Muestra YA-04

Resultados de los análisis geoquímicos de los tres cinturones magmáticos de la región de la región estudio .....	129
Datos de isótopos de Sr, Nd y Pb de acuerdo a literatura publicada .....	136
Coordenadas de las muestras estudiadas.....	139

## **Lista de Figuras**

Figura 1: Ubicación geográfica de la región de estudio.

Figura 2: Mapa geológico de la región de estudio.

Figura 3: Columna geológica del cinturón Quicay-Pacoyán.

Figura 4: Sección transversal de Quicay.

Figura 5: Columna geológica del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos.

Figura 6: Mapa geológico de Milpo-Atacocha.

Figura 7: Sección transversal de Vinchos.

Figura 8: Columna geológica del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca.

Figura 9: Sección geológica de Colquijirca.

Figura 10: Mapa geológico de Cerro de Pasco.

Figura 11: Fotos de las rocas del cinturón Quicay-Pacoyán.

Figura 12: Fotos de las rocas del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos.

Figura 13: Fotos de las rocas del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca.

Figura 14: Composición de rocas volcánicas y subvolcánicas del cinturón Quicay-Pacoyán según el diagrama álcalis total versus sílice de Le Maitre et al (1989).

Figura 15: Composición de rocas volcánicas y subvolcánicas del cinturón Quicay-Pacoyán según el diagrama  $K_2O$  versus sílice de Peccerillo y Taylor (1976).

Figura 16: Composición de dos rocas volcánicas del cinturón Quicay-Pacoyán según el diagrama  $Zr/TiO_2$  versus  $Nb/Y$  de Winchester y Floyd (1977).

Figura 17: Abundancia de REE de las rocas magmáticas del cinturón Quicay-Pacoyán normalizadas al condrito de Nakamura (en Potts et al, 1981).

Figura 18: Composición de rocas volcánicas y subvolcánicas\* del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos según el diagrama álcalis total versus sílice de Le Maitre et al (1989).

Figura 19: Composición de rocas volcánicas y subvolcánicas\* del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos según el diagrama  $K_2O$  versus sílice de Peccerillo y Taylor (1976).

Figura 20: Abundancia de REE de las rocas del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos normalizadas al condrito de Nakamura (en Potts et al. 1981).

Figura 21: Composición de rocas volcánicas y subvolcánicas del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca según el diagrama álcalis total versus sílice de Le Maitre et al (1989).

Figura 22: Composición de rocas volcánicas y subvolcánicas del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca según el diagrama  $K_2O$  versus sílice de Pecherillo y Taylor (1976).

Figura 23: Composición de algunas rocas volcánicas del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca según el diagrama  $Zr/TiO_2$  versus  $Nb/Y$  de Winchester y Floyd (1977).

Figura 24: Abundancia de REE de las rocas del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos normalizadas al condrito de Nakamura (en Potts et al. 1981).

Figura 25: Campos composicionales de las rocas magmáticas de los tres cinturones de la región de estudio en Pasco-Huánuco según el diagrama álcalis total versus sílice de Le Maitre et al (1989).

Figura 26: Abundancia de REE de las rocas magmáticas de los tres cinturones de la región de estudio en Pasco-Huánuco normalizadas al condrito de Nakamura (en Potts et al, 1981).

Figura 27: Rocas magmáticas de los cinturones Quicay-Pacoyán, Milpo-Atacocha-Vinchos y Cerro de Pasco-Colquijirca ploteadas en un diagrama de discriminación  $Sr/Y$  en función de  $Y$  para adakitas, tonalita-trondhjemitita-granodiorita (TTG) y lavas calco-alcalinas de arco de Defant y Drummond (1990) y Martin (1998).

Figura 28: Rocas magmáticas de los cinturones Cerro de Pasco-Colquijirca y Quicay-Pacoyan ploteadas en un diagrama de discriminación para rocas adakíticas y BADR (basaltos-andesitas-dacitas-riolita) de Martin (1999). N: normalizadas al condrito de Nakamura (en Potes et al., 1981).

Figura 29: Rocas magmáticas de los cinturones Cerro de Pasco-Colquijirca y Quicay-Pacoyán ploteadas en un diagrama de discriminación  $Sm_N/Yb_N$  vs edad en Ma.

## **Lista de Tablas**

Tabla 1: Principales características de los tres cinturones magmático-hidrotermales Terciarios de la región de estudio en Pasco-Huánuco.

Tabla 2: Composición en elementos mayores de algunas rocas magmáticas del cinturón Quicay-Pacoyán.

Tabla 3: Composición en elementos traza de algunas rocas magmáticas del cinturón Quicay-Pacoyán.

Tabla 4: Composición en elementos mayores de algunas rocas magmáticas\* del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos.

Tabla 5: Composición en elementos traza de algunas rocas magmáticas del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos.

Tabla 6: Composición en elementos mayores de algunas rocas magmáticas del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca

Tabla 7: Composición en elementos traza de algunas rocas magmáticas del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca.

## RESUMEN

Los yacimientos polimetálicos y ocurrencias hidrotermales de la región de estudio en Pasco-Huánuco (8°804,000 N – 8°856,000 N y 340,000 E – 376,000 E) están relacionados a intrusiones magmáticas. Estos depósitos constituyen tres cinturones metalogénicos sub-paralelos entre si, alineados siguiendo la dirección andina y paralelos a la fosa peruana. Los cinturones metalogénicos se habrían generado en orden cronológico durante (i) el Eoceno superior, entre 39 y 35 Ma (cinturón Quicay-Pacoyán), (ii) el Oligoceno, entre 29-26 Ma (cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos) y (iii) el Mioceno Medio, entre 15 y 10 Ma (cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca). Todos los tipos de depósitos hidrotermales reconocidos en estos tres cinturones mineralizados pertenecen a la familia general de los yacimientos relacionados a los pórfidos de Cu (“porphyry-related deposits”) los cuales son comunes en márgenes activas de subducción o zonas de arco e incluye principalmente: (a) mineralización epitermal de alta sulfuración de Au-(Ag) (cinturón Quicay-Pacoyán y cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca), (b) mineralización epitermal de alta sulfuración de Zn-Pb-Cu-(Ag-Au) (cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca), (c) mineralización epitermal de baja sulfuración de Zn-Pb-Cu-(Ag-Au) (cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos) y (d) depósitos de Zn-Pb-Cu-(Ag-Au) relacionados a skarn además de ocurrencias de pórfidos de Cu±Mo±Au±W (cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos).

Composicionalmente, se han reconocido diferencias significativas entre las rocas magmáticas de los tres cinturones siendo las más significativas aquellas relacionadas al contenido en elementos traza, particularmente en Sr, Y y REE. El contenido en estos elementos examinado sobre la base de datos geocronológicos publicados registra coeficientes crecientes de Sr/Y y Sm/Yb con el tiempo, registrando valores particularmente altos para el cinturón Mioceno de Cerro de Pasco-Colquijirca. Estos altos valores son consistentes con el pronunciado engrosamiento cortical que habría tenido lugar durante el Neógeno y provee un escenario de generación de magmas con potenciales procesos de asimilación de corteza y a diferentes profundidades tal y como fue propuesto sobre la base de isótopos de Pb, Sr y Nd, por varios autores. Así durante el Mioceno después de un engrosamiento de la corteza y durante el cese del arco magmático y durante el inicio de una horizontalización en la subducción se habrían generado los magmas fértiles oxidados que generaron la mineralización en el cinturón

Cerro de Pasco-Colquijirca. Debido a la insuficiencia de datos no podemos hacer discusiones sobre los procesos de generación de magmas relacionados a los cinturones metalogénicos más antiguos Eoceno y Oligoceno.

Por último, puede distinguirse una relación entre el tamaño de los yacimientos y el carácter adakítico del magmatismo asociado. Así, los grandes yacimientos polimetálicos del cinturón Mioceno Cerro de Pasco-Colquijirca (cada uno >200 Mt) están asociados a rocas magmáticas con un marcado carácter adakítico mientras que aquellos del cinturón Oligoceno Milpo-Atacocha-Vinchos son acentuadamente más pequeños (<50 Mt) y las rocas magmáticas asociadas no muestran un carácter adakítico.



# **CAPÍTULO I**

## **1.- GENERALIDADES**

### **1.1.- INTRODUCCIÓN**

En la región alto andina este de Pasco-Huánuco han sido reconocidos, en este trabajo, tres cinturones magmáticos relacionados a mineralización económica. Un cinturón antiguo activo durante 38 a 35 Ma relacionado a sistemas de stocks y domos de composición predominantemente andesítica ha desarrollado sistemas hidrotermales epitermales de Au-(Ag) del tipo alta sulfuración en Quicay y Pacoyán. Un segundo cinturón más joven datado entre 29-26 Ma comprende intrusivos generalmente granodioríticos a dioríticos los cuales han generado pórfidos de Cu-(Au-Mo) (sub-económicos) y skarns asociados a mineralización de Zn-Pb-Ag-Cu como en Milpo, Atacocha y Vinchos. Un cinturón aún más joven y prolífico es aquel desarrollado entre 15 y 10 Ma y que comprende los históricos distritos mineros de Cerro de Pasco y Colquijirca. Se trata básicamente de mineralización Cordillerana de Zn-Pb-Cu-Ag-Au (sensu Einaudi, 1977) asociada a centros volcánicos dacíticos de tipo domo-diatrema. Además, tanto en Cerro de Pasco como en Colquijirca se han generado pequeñas manifestaciones epitermales de Au-(Ag) tipo alta sulfuración.

Análisis de reconocimiento litogeoquímicos obtenidos previamente por, entre otros, Soler, 1988 y 1991 y BendeZú, 2007 indicaban que las rocas magmáticas, aún cuando en términos generales eran composicionalmente similares (i.e., calcoalcalinas), estas presentaban rasgos distintos en términos de concentraciones de elementos traza. Por ejemplo, uno de estos rasgos es evidenciado en la afinidad "adakítica" del rico cinturón de Cerro de Pasco-Colquijirca (15-10 Ma), un rasgo que no parece presentar el cinturón de Milpo-Atacocha-Vinchos (29-26 Ma) ni el cinturón de Quicay-Pacoyán (38 a 35 Ma). Del mismo modo, otros patrones de composiciones de elementos traza parecen ser característicos de cada cinturón.

Con este trabajo se definen mejor estas diferencias de las rocas magmáticas de los tres cinturones de la región de Pasco-Huánuco en términos de composición litogeoquímica y en parte petrográfica y se pone en evidencia que estas diferencias

estarían en parte relacionadas al estilo particular de mineralización propio de cada cinturón.

## **1.2.- OBJETIVOS Y LINEAMIENTOS DE TRABAJO**

Los objetivos de este trabajo son:

- Establecer la naturaleza general del magmatismo en cada uno de los tres cinturones metalogénicos de la región de estudio en Pasco-Huánuco en términos de composición litogeoquímica y petrográfica.
- Caracterizar en base a los rasgos más representativos los tipos de mineralización en cada uno de estos tres cinturones.
- Explorar las posibles relaciones que existirían entre la naturaleza del magmatismo y el tipo mineralización asociada en cada cinturón.

Para ello, este trabajo se focaliza en el estudio de rocas ígneas representativas de cada uno de los tres cinturones magmáticos reconocidos en la región de Pasco-Huánuco, todos ellos relacionados a depósitos minerales económicos. Del mismo modo se describe los principales rasgos de mineralización característicos de cada cinturón. Complementariamente se lleva a cabo una compilación e interpretación de datos de isótopos (Sr-Nd-Pb) con el fin de obtener algunas indicaciones de los posibles procesos de formación de los magmas en cada uno de los tres cinturones.

### **1.3.-MÉTODOS DE TRABAJO**

Básicamente los métodos de trabajo empleados fueron:

- Recopilación de datos bibliográficos existentes de la región de estudio. Esta recopilación incluyó fundamentalmente datos geoquímicos, petrográficos, radiométricos y de isótopos estables (Sr, Nd, Pb).
- Integración de mapas geológicos y metalogenéticos de la región. La compilación y ejecución de los mapas y secciones se llevaron a cabo tanto a escala regional-distrital como a escala de los sistemas hidrotermal de los principales yacimientos de la región.
- Trabajo de campo. Consistió en un reconocimiento y delimitación general de los tres cinturones magmáticos reconocidos, básicamente entre las líneas 8°804,000 N – 8°8056,000 N y 340,000E – 376,000 E. El trabajo de campo también incluyó un muestreo selectivo de rocas lo menos alteradas posibles a frescas representativas de estos cinturones.
- Análisis químicos. Los análisis químicos se realizaron en los laboratorios de Actlabs Canadá utilizándose para los análisis de elementos mayores una digestión de tipo metaborato-tetraborato de litio y una lectura por fluorescencia de rayos X. Las concentraciones en elementos traza fueron obtenidos luego de una fusión de las muestras utilizando metaborato de litio y una lectura vía ICP-MS y ICP-OES. Datos adicionales como rangos de detección, interferencias y blancos se dan en el apéndice 2.
- Estudio petrográfico. El estudio petrográfico fue llevado a cabo con el uso de un microscopio polarizante Leica modelo DMLP que Sociedad minera El Brocal dispone en su unidad Colquijirca. Las imágenes que se documentan fueron tomadas con una cámara Leica DFC320. Las secciones delgadas fueron preparadas en los talleres de INGEMMET.

## **1.4.-TRABAJOS PREVIOS**

Existe considerable material bibliográfico que incluye la geología de la región central andina como los estudios clásicos de McLaughlin (1925), Newell (1955) y Mégard (1978). A una escala más local sobresalen los trabajos realizados por Jenks (1951) y Ángeles (1993, 1999) en el distrito minero de Colquijirca y Cerro de Pasco y Gunnesch (1984) y Wilson (1955) en el distrito minero de Milpo-Atacocha.

En contraste, la información sobre otros aspectos de la región de estudio incluyendo sobre la naturaleza de las rocas magmáticas es limitada. Una excepción notable son los estudios publicados por Soler (1988, 1991) quien documentó la química de las rocas magmáticas Oligocenas de Atacocha-Milpo, así como de algunas del cinturón Eoceno de Quicay-Racco y de Cerro de Pasco. Otros trabajos con información sobre el magmatismo en la región de estudio incluyen Bendezú (1999, 2003, 2007), Sarmiento (2004) y Baumgartner (2007). Datos adicionales pertinentes, aunque más puntuales, sobre el magmatismo en la región de Pasco-Huánuco pueden encontrarse en Ángeles (1993, 1999), Gunnesch (1984) y Farfán (2006).

En cuanto a la información bibliográfica sobre dataciones radiométricas figuran los trabajos de Soler y Bonhomme (1988), Wilson (1975), Vidal (1984), Cobbing et al. (1982), Noble y McKee (1999), Bendezú et al. (2005, 2007) y Baumgartner et al (2004, 2007). Finalmente, datos de isótopos de Sr-Nd-Pb han sido publicados por Soler (1990 y 1991), y Noble y McKee (1999).

## 1.4.-UBICACIÓN Y ACCESO

La región de estudio se sitúa en los Andes Centrales de los departamentos de Pasco y Huanuco (Figura 1), a una altitud promedio de 4200 msnm, entre las coordenadas UTM:

$$\begin{aligned} &8'804,000 \text{ N} - 8'856,000 \text{ N y} \\ &340,000 \text{ E} - 376,000 \text{ E} \end{aligned}$$

El acceso al área en conjunto es mediante la carretera asfaltada Lima-La Oroya-Cerro de Pasco-Ambo en un recorrido aproximado desde Lima de 350 km.



Figura 1: Ubicación geográfica de la región de estudio

## CAPITULO II

### 2.- CONTEXTO GEOLÓGICO

#### 2.1.- Geología general de la región de estudio

Las rocas más antiguas de la región de estudio constituyen un basamento Pre-Cambriano y Paleozoico predominantemente terrígeno de espesor y edades fuertemente variables. Hacia el este de la región, cerca de 3000 m de principalmente esquistos (Complejo Maraón) y areniscas (Grupos Ambo y Mitu) infrayacen hasta más de 1000 m de carbonatos del Missisipiano y Pensilvaniano (Grupos Tarma y Copacabana). En el oeste no se conocen afloramientos importantes del Complejo Maraón, ni del Grupo Ambo, ni de las secuencias carbonatadas del Paleozoico superior. Allí, el basamento está conformado por una secuencia de filitas de espesor desconocido del Grupo Excelsior de edad probablemente Devoniana (Figura 2).

Las rocas más importantes de la región en términos de afloramiento son las rocas carbonatadas marinas del Triásico superior al Jurásico inferior del Grupo Pucará. Éstas se exponen en grandes áreas desde Colquijirca en el sur hasta Vinchos en el norte (Figura 2). Aunque no tan extendidas como en otras regiones de Perú central, rocas Cretácicas, principalmente areniscas además de algunas secuencias carbonatadas prevalecen en algunos sectores de la región de estudio (e.g., oeste de Cerro de Pasco y en el sector Atacocha). Otras secuencias aunque de extensión limitada a la parte sur de la zona de estudio (i.e., Colquijirca y Cerro de Pasco) están constituidas por rocas carbonatadas cretácicas tardías de la Formación Pocobamba (Miembro Shuco) y de rocas carbonatadas impuras continentales del Eoceno de la Formación Calera, particularmente importantes en la zona de Colquijirca. Depósitos cuaternarios de naturaleza fluvial, aluvial y glaciar afloran en gran parte al oeste de la región de estudio cubriendo grandes extensiones en la parte de Quicay y Pacoyán (Figura 2) y con un espesor de hasta más de 100 m en San Gregorio (Figura 2).

De acuerdo a Ángeles (1993, 1999), algunos de los rasgos estructurales más prominentes actualmente observados en la región (i.e., de rumbo NNW), incluyendo la falla Longitudinal (Figura 2) habrían estado activos durante la sedimentación del Grupo

Pucará y a su vez habrían tenido lugar antes del Oligoceno, tal y como lo sugiere el control del complejo batolítico Oligoceno y de los centros intrusivos Miocenos mas importantes (ver más adelante y Figura 2). Durante el Cenozoico el estilo estructural que prevaleció fue claramente compresivo y aparentemente carente de fallamiento normal. Los saltos de falla reconocidos son generalmente de tipo inverso (Ángeles, 1999).

La primera manifestación importante de magmatismo en la región aparece durante el Eoceno con un conjunto de plutones y domos principalmente de composición andesítica los cuales afloran desde Racco al sur hasta Huancayán en el norte (Figuras 2 y 3). Más tarde, durante el Oligoceno un emplazamiento magmático de dimensiones batolíticas y composición diorítica a granodiorítica tuvo lugar en la parte este de la zona de estudio desde La Quinoa en el sur y pasando por Mal Paso en el norte (Figura 2). Más recientemente, y en lo que parece constituir el último episodio mayor de actividad magmática en la región, ocurrió durante el Mioceno. Se trata de un conjunto de centros intrusivos volcánicos generalmente dacíticos de tipo domo-diatremas. Estos centros intrusivos han sido reconocidos solo al sur de la zona de estudio entre Colquijirca y Cerro de Pasco (Figura 2).



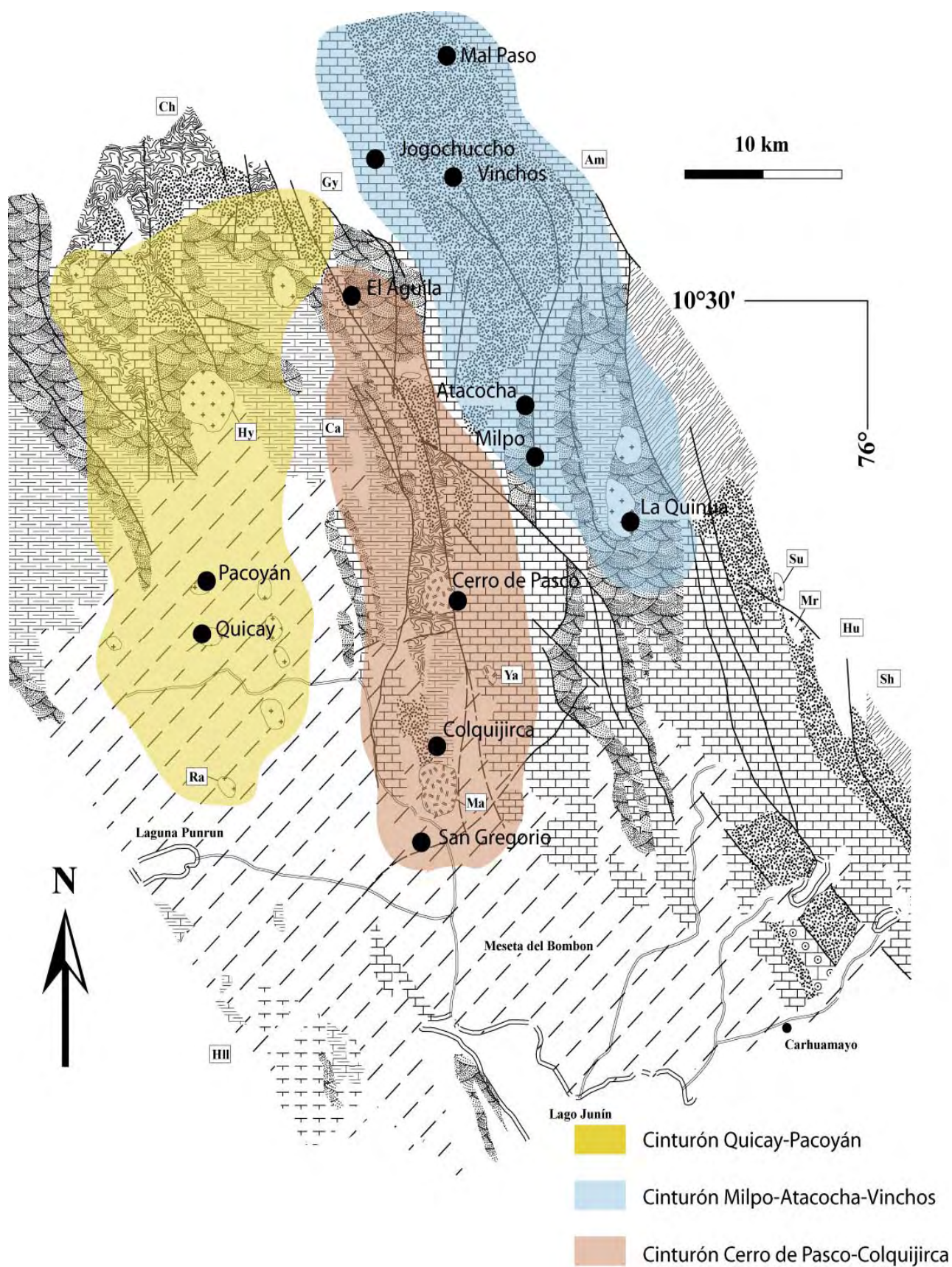
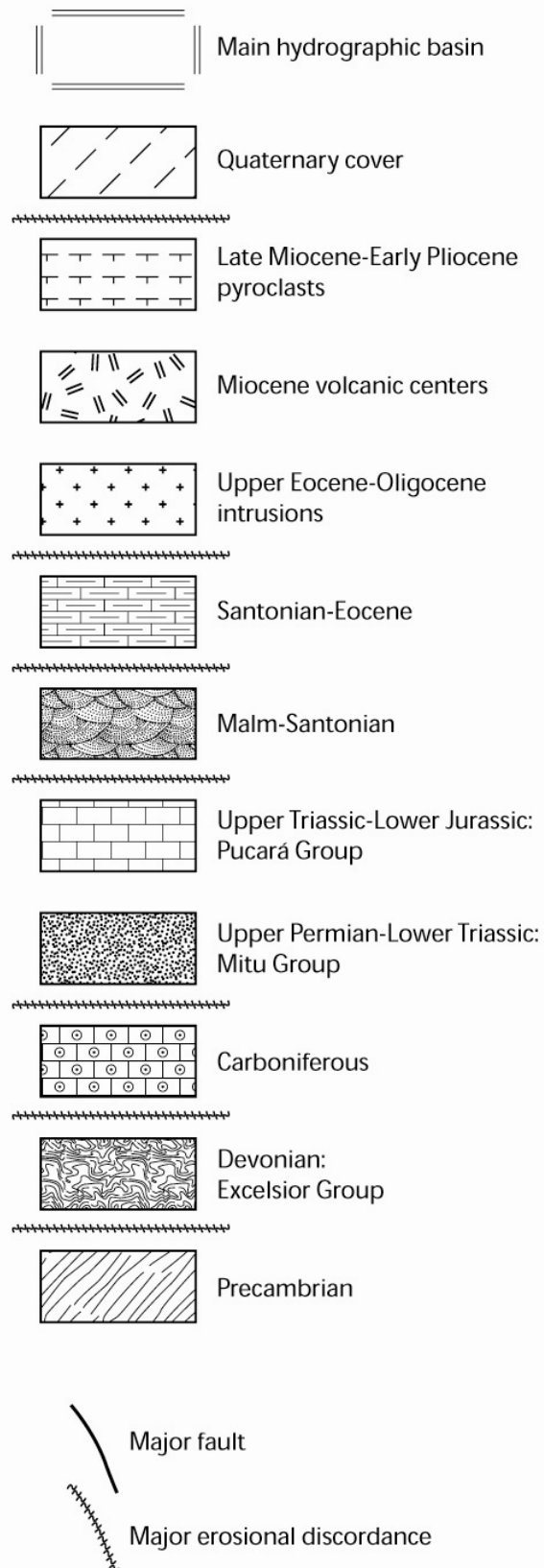


Figura 2: Mapa geológico de la región de estudio. Compilado de Jenks, 1951, Mégard, 1977, Ángeles, 1999, Bende-zú, 2007 y datos propios.

## Leyenda para la figura 2

### Geological Units



### Geographical points

<b>AM</b>	Ambo
<b>AG</b>	El Aguila
<b>CA</b>	Cacuán
<b>CH</b>	Chaupihuaranga
<b>AM</b>	Ambo
<b>GY</b>	Goyllarizquizga
<b>HU</b>	Huachón
<b>HY</b>	Huancayán
<b>HII</b>	Huayllay
<b>MA</b>	Marcapunta
<b>MR</b>	Mariac
<b>PA</b>	Pacoyán
<b>QU</b>	Quinua
<b>QY</b>	Quicay
<b>RA</b>	Raco
<b>SH</b>	Shalipayco
<b>SU</b>	Sunkullo
<b>VI</b>	Vinchos
<b>YA</b>	Yanamate

## **2.1.-Cinturón Quicay-Pacoyán**

### **2.1.1.-Estratigrafía y marco tectónico- estructural**

La columna estratigráfica en el cinturón Quicay-Pacoyán (QP) consiste de una secuencia de rocas de edad Paleozoico inferior a Terciario (Figura 3) y tiene similares características con la columna estratigráfica del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca ubicado más al este. La base de la secuencia consiste básicamente de rocas detríticas del Devónico y Pérmico de los Grupos Excelsior y Mitu respectivamente las cuales infrayacen en el este y norte a la secuencia carbonatada del Triásico superior-Jurásico del Grupo Pucará. Suprayaciendo a esta secuencia de rocas, al este del cinturón QP, aparecen areniscas y cuarcitas del Grupo Goyllarisquizga del Cretáceo inferior. La secuencia culmina con sedimentos de la Formación Pocobamba y depósitos de tobas y carbonatos impuros de la Formación Calera, ambos de edad Eoceno superior.

#### ***Grupo Excelsior***

Las rocas del grupo Excelsior constituyen las rocas más antiguas de este cinturón y deben su nombre a McLaughlin (1925). Se trata predominantemente de filitas y pizarras gris parduzcas con sericita y clorita, de probable edad Devoniana. Afloran al norte de Quicay-Pacoyán (Figuras 2 y 3). Se desconoce el espesor del Grupo Excelsior en el cinturón QP.

#### ***Grupo Mitu***

Mc Laughlin (1925) dio este nombre a una serie detrítica de color rojo en la localidad de Mitu. Se trata de rocas continentales tipo capas rojas, que se abrían depositado entre el Pérmico superior y el Triásico inferior (Mégard, 1978). Estas rocas afloran al norte de este cinturón (Figuras 2 y 3).

#### ***Grupo Pucará***

Las rocas carbonatadas del Triásico-Jurásico del Grupo Pucará fueron descritas por primera vez en 1925 por Mc Laughlin. Se tratan mayoritariamente de calizas, dolomías y calizas dolomíticas con intercalaciones de tobas, lutitas y nódulos de chert.

El Grupo Pucará aflora indiviso al este y norte de la mina Quicay (Figuras 2 y 3). Se desconoce el espesor de la secuencia del Grupo Pucará en el área del cinturón de Quicay-Pacoyán.

### ***Grupo Goyllarisquizga***

El Grupo Goyllarisquizga fue inicialmente denominado por Mc Laughlin (1924) como “areniscas Goyllarisquizga-Jatunhuasi”, quien llamó de esta manera a una serie clástica en la localidad de Goyllarisquizga que se habría depositado durante el Cretáceo inferior. Posteriormente Jenks (1951) le dio el nombre de Formación Goyllarisquizga y Wilson (1963) la elevó a la categoría de Grupo, abarcando toda la serie clástica y calcárea que aflora en la cuenca occidental del centro y norte andino del Perú (Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat). En el cinturón QP el Grupo Goyllarisquizga aparece indiviso y está constituido principalmente por areniscas cuarzosas de grano fino y medio con estratificación cruzada que afloran hacia el este fuera del área de la mina Quicay (Figuras 2 y 3)

### ***Formación Pocobamba***

Las rocas de la Formación Pocobamba son de origen detrítico continental las cuales se depositaron durante el Eoceno superior. Estas rocas (descritas en detalle más adelante) se dividen en dos unidades: Miembro Cacuán y Miembro Shuco, ambos, de acuerdo a INGEMMET, estarían presentes bajo la cubierta cuaternaria en gran parte del cinturón Quicay-Pacoyán (Figuras 2 y 3).

### ***Formación Calera***

Las rocas carbonatadas del Eoceno superior pertenecientes a la Formación Calera fueron mencionadas por primera vez por Mc Laughlin en 1924, pero fue Noble (1992) quien aconsejó referirse a ella como Formación.

En la zona de Quicay-Pacoyán los afloramientos del Calera son escasos y aparentemente se encuentran cubiertos por material cuaternario (E. Flores, 2002) (Figuras 2 y 3).

## Columna geológica del cinturón Quicay-Pacoyán

Cenozoico	Cuaternario		Depósitos Cuaternarios			Depositos aluviales, fluviales y fluvio-glaciares
	Paleógeno	Eoceno	Formación Calera	Complejo volcánico de Quicay-Pacoyán		Lavas - domos de composición dacítica y diques de composición diorítica
						Calizas, calizas margosas y dolomías intercaladas con arcillitas
		Paleo Ceno	Formación Pooobamba	Membro Shuco		Brecha sedimentaria de dastos calcáreos
				Membro Cacuán		Areniscas limosas, limolitas rojas, areniscas y brechas conglomerádicas
Mesozoico	Cretácico	Inferior	Grupo Goyllarisquiza			Areniscas cuarzosas de grano fino y medio con estratificación cruzada
	Jurásico	Inferior	Grupo Pucará			Calizas, dolomías y calizas dolomíticas con delgadas intercalaciones de tobos
	Superior	lutitas y nódulos de chert				
	Triásico	Inferior	Grupo Mtu			Areniscas rojas con lentes de conglomerados gris oscuros, dastos de cuarcita y cuarzo lechoso
Paleozoico	Pérmico	Superior				Filitas y pizarras gris parduzcas con sericita
	Devónico		Grupo Excelsior			

Figura 3. Columna geológica del cinturón Quicay-Pacoyán.

## **Marco Tectónico-Estructural**

Aún no se han establecido los eventos tectónicos que habrían generado los principales rasgos estructurales del cinturón Quicay-Pacoyán, sin embargo podemos mencionar algunos puntos que han sido descritos por el STAFF de Chancadora Centauro (Excursión a Cerro de Pasco, 2006).

Estructuralmente, el cinturón QP se caracteriza por presentar dos sistemas principales de fallas inversas dextrales. El primero de ellos y el más importante, tiene una dirección NO-SE (N310°-340°) coincidente con la mayor elongación del domo Quicay y el otro con una dirección NE-SW (N220°-240°). Ambos sistemas son pre mineralización y pudieron ser aprovechados para el emplazamiento de los diques de composición diorítica, y cuerpos de brechas presentes en este cinturón.

Las principales fallas y fracturas en Quicay siguen una orientación NO-SE, las mismas que habrían controlado las estructuras mineralizadas.

Otras familias de fallas y fracturas reconocidas en Quicay tienen direcciones NE-SW y N-S.

### **2.1.2.- Rocas Magmáticas**

Las rocas magmáticas del cinturón Quicay-Pacoyán corresponden a un sistema de stocks y centros volcánicos Eocenos principalmente andesíticos. De acuerdo a datos geofísicos estos stocks serían parte de un complejo magmático anular de dimensiones sub-batolíticas (30 x 8 km). (Figura 2)

Texturalmente los stocks son porfiríticos y contienen generalmente fenocristales de plagioclasas, anfíboles y piroxenos (Figura 11). Un sistema de diques de composición diorítica parece haberse emplazado aprovechando los sistemas de fallamiento-fracturamiento existentes en la zona.

Los stocks y centros dómicos reconocidos en este cinturón además de Quicay y Pacoyán son Racco, Cauquish, Ricran, Cuhuay, Huangur y Huancayán.

Edades K/Ar de la actividad magmática-volcánica disponibles de la literatura incluyen:

1.  $35.2 \pm 0.1$  Ma para el stock de Racco (Soler y Bonhome, 1988)
2.  $38.5 \pm 1.0$  Ma para el stock de Huangur (Bonhome y Soler, 1985).
3. 37.5 Ma para depósito de Quicay (Noble y McKee, 1999).

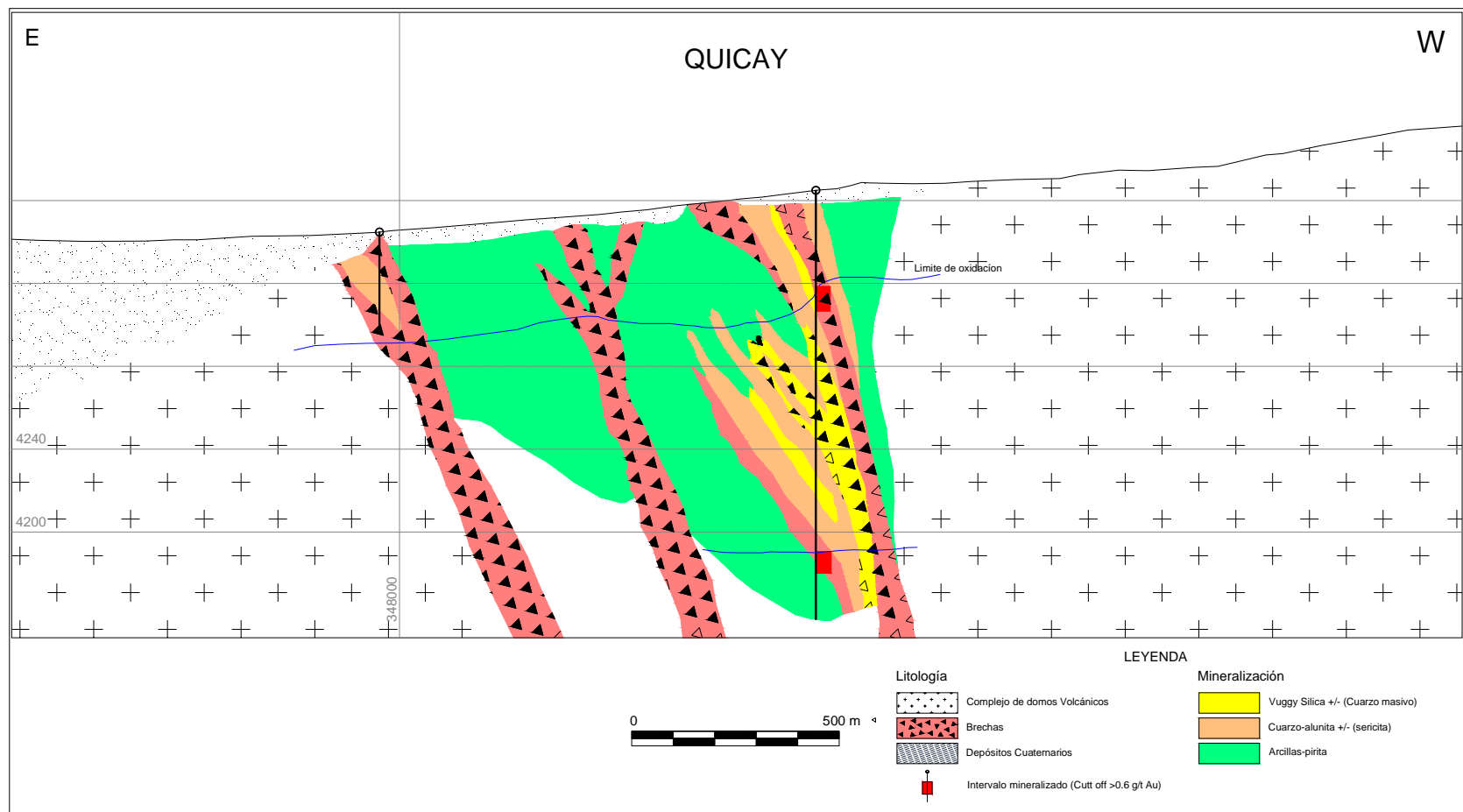


Figura 4: Sección transversal del centro mineralizado de Quicay. Modificado de Buenaventura, 2001 en Curso de entrenamiento en Cerro de Pasco - Proexplo 2001.



Adicionalmente, Arribas (comunicación escrita, 2008) reporta dos edades  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  efectuadas en alunite de Quicay. Las mediciones datan la actividad hidrotermal en  $38.4 \pm 1.3$  Ma y  $38.8 \pm 1.3$  Ma.

La actividad magmática; probablemente se inicio con una primera fase piroclástica y posteriormente sucedió un evento efusivo tipo lavas-domos de composición andesítica a andesítica basáltica. La edad K/Ar comprendida entre 36 y 37 Ma (Noble et al, 1999) para unas tobas de grano fino dentro de la Formación Calera corresponden talvez a la actividad volcánica del cinturón Quicay-Pacoyán.

### **2.1.3. Metalogenia**

En el cinturón Quicay-Pacoyán, reconocido como el más antiguo de la región, se han reconocido manifestaciones de sistemas hidrotermales epitermales de metales preciosos del tipo “high sulfidation” (Figura 4) en los sectores de Quicay y Pacoyán.

El principal y más representativo de estos yacimientos minerales en este cinturón es Quicay. Está ubicado en la parte central del sistema magmático anular mencionado más arriba. De acuerdo al STAFF de Chancadora Centauro (Excursión a Cerro de Pasco, 2006) en Quicay ocurrieron tres eventos principales de mineralización aurífera.

Un primer evento mineralizante tuvo un bajo contenido de oro y pirita diseminada en sílice masiva. Siguió una fase principal de mineralización, en el cual el oro se depositó en pirita a manera de partículas submicroscópicas en finas diseminaciones, rellenando fracturas y tapizando pequeñas cavidades. También, aunque más raramente, el oro se habría depositado asociado a enargita y covelita. Un pulso más tardío y menos importante en términos de interés económico consistió en precipitación de oro asociado a alunite.

La alteración hidrotermal en la Mina Quicay es típica de un sistema hidrotermal de alta sulfuración “high sulfidation” con un claro zonamiento desde “vuggy silica” y alteración argílica avanzada en las partes centrales a alteración argílica y alteración propilítica hacia la periferia. Al igual que en otros depósitos epitermales de alta sulfuración la mineralización de oro con leyes de hasta 20 g/t Au ocurre principalmente en las zonas internas de “vuggy silica”.



Un estilo de mineralización similar a Quicay se ha observado en Pacoyán (Figura 2). Allí se puede observar el ensamble cuarzo-alunita en zonas de “vuggy silica” asociado a valores significativos de  $\text{Au}\pm(\text{Ag})$ .

Además se ha observado durante el reconocimiento de campo que algunos afloramientos del stock de Cauquish (Figura 2) muestran efectos de alteración hidrotermal del tipo propilítico a incluso fílica en parte relacionados a óxidos de hierro en finas vetillas.

## **2.2. Cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos**

### **2.2.1. Estratigrafía y marco tectónico-estructural**

La columna estratigráfica en el cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos (MAV) consiste de una secuencia de rocas de edades que van desde el Paleozoico inferior hasta el Terciario (Figura 5). Las rocas más antiguas en el cinturón MAV afloran sobre todo en su parte norte y consisten de intercalaciones de rocas detríticas del Devónico y Carbonífero inferior de los Grupos Excelsior y Ambo, las cuales infrayacen a rocas básicamente carbonatadas del Carbonífero superior y Pérmico inferior de los Grupos Tarma y Copacabana respectivamente. A su vez estas rocas carbonatadas infrayacen a capas rojas del Grupo Mitu de edad Pérmico superior. Rocas carbonatadas del Triásico superior-Jurásico inferior del Grupo Pucará sobreyacen al Grupo Mitu y afloran a lo largo de casi todo el cinturón MAV. Más arriba, la columna estratigráfica consiste de areniscas cuarzosas del Cretáceo inferior del Grupo Goyllarisquizga. Hacia el tope de la secuencia afloran las calizas del Cretáceo Medio (Formación Machay) y culmina con las rocas de la Formación Pocobamba del Eoceno superior, siendo estas las rocas sedimentarias más jóvenes del cinturón MAV.

#### ***Grupo Excelsior***

El Grupo Excelsior constituye tal vez la secuencia de rocas más antiguas del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos (probablemente de edad Devoniana). Consiste de pizarras gris oscuras, pizarras esquistas, filitas y estratos delgados de cuarcita de grano medio a fino

Dentro del cinturón MAV el Grupo Excelsior (McLaughlin 1925, Ángeles 1993) se expone mejor en las inmediaciones del centro minero de Vinchos donde infrayace a carbonatos del Grupo Pucará. Allí consiste de una secuencia de cuarcitas fuertemente silicificadas, esquistos gris verdosos y filitas gris oscuras (Figura 5)

### ***Grupo Ambo***

Newell et al (1953) dió este nombre a una serie de rocas detríticas en la localidad de Ambo. Se trata de series continentales del litoral interrumpidas por una o dos fases marinas (Dalmayrac, 1970; Mégard, 1973) que se habrían depositado durante el Carbonífero inferior (Newell, 1953; Wilson y Reyes 1967).

El Grupo Ambo ha sido reconocido sólo en el área de Vinchos (Figura 2) y está conformado por areniscas blancas, grises y marrones, que se presentan ocasionalmente intercaladas con algunos niveles bituminosos, limonitas y lutitas. Por lo general el Grupo Ambo se encuentra en zonas depresivas y en ocasiones en contacto directo debajo del Grupo Mitu (Figura 5).

### ***Grupo Tarma***

El Grupo Tarma debe su nombre a Newell et al (1953). Se trata de areniscas gris verdosas a la base, y calizas grises intercaladas con lutitas grises carbonosas de edad Carbonífero superior. El Grupo Tarma aflora al NE de Vinchos y en Mal Paso (Figura 2), donde se trata de una secuencia de calizas grises oscuras azuladas y areniscas gris pardo de grano fino alternadas con limonitas y lutitas color gris oscuro que debido a la actividad tectónica, se encuentran en contacto fallado con las rocas del Grupo Mitu y del Grupo Excelsior (Figura 5).

### ***Grupo Copacabana***

El Grupo Copacabana consiste de calizas grises micríticas, esparíticas, caliza arenosa y limoarcilitas calcáreas, predominantemente en capas gruesas. De acuerdo a Cabrera La Rosa y Petersen (1936) y luego a Newell et al (1946) el Grupo Copacabana tendría una edad Pérmico inferior. En el área de Vinchos, se compone de rocas calcáreas grises de grano medio a fino con un espesor estimado 80 m. Se encuentra infrayaciendo al Grupo Mitu mediante una discordancia erosional y suprayaciendo concordantemente al Grupo Tarma (Figura 5).

### ***Grupo Mitu***

Mc Laughlin (1925) dio el nombre de Grupo Mitu; a una serie detrítica de color rojo en la localidad de Mitu. Se trata de rocas continentales tipo capas rojas que se habrían depositado entre el Pérmico superior y el Triásico inferior (Mégard, 1978). Al este y noreste de Vinchos el Grupo Mitu está compuesto por conglomerados con clastos polimícticos redondeados de cuarcitas blancas y en menor proporción de esquistos y filitas subangulosos en una matriz arenácea de color rojo ocre, intercalándose además con clastos de areniscas finas con delgados niveles de conglomerados. El Grupo Mitu se encuentra en contacto-falla con el Grupo Tarma. El Grupo Mitu en Machcán (Figura 2) consiste de una secuencia de areniscas, rocas volcánicas y conglomerados. Sobreyace al Grupo Excelsior en ligera discordancia angular (Figura 5).

### ***Grupo Pucará***

Las rocas carbonatadas del Grupo Pucará de edad Triásico superior-Jurásico constituyen la roca caja de casi toda la mineralización económica de los yacimientos del cinturón MAV incluyendo a Milpo, Atacocha y Vinchos.

En Milpo y Atacocha, el Grupo Pucará sobreyace al Grupo Mitu y tiene un espesor aproximado de 2000 m. Está constituido por estratos de caliza y chert sub verticales de rumbo N 30° O con potencias que varían de 10 a 20 cm hasta 50 a 60 cm, de colores grises y pardo negriscos. (Ly, 1975). En Vinchos, el Grupo Pucará presenta un espesor de hasta 350m y se caracteriza por presentar calizas de textura micrítica que se encuentran alternadamente con calizas nodulares, chert y brechas calcáreas sedimentarias. En esta zona el Grupo Pucará sobreyace a rocas del Grupo Excelsior mediante un posible cabalgamiento localmente denominado Falla-Veta Milagros. El espesor del Grupo Pucará es variable desde aproximadamente 500 m al norte de este cinturón hasta más de 1000 m en las inmediaciones a Atacocha (Wilson et al, 1955) (Figura 6).

### ***Grupo Goyllarisquizga***

McLaughlin (1924) inicialmente denominó “Areniscas Goyllarisquizga-Jatunhuasi”, a una serie clástica en la localidad de Goyllarisquizga que se habrían depositado durante el Cretáceo inferior. Posteriormente Jenks (1951) le dio el nombre de Formación Goyllarisquizga y Wilson (1963) la elevó a la categoría de grupo, abarcando toda la serie clástica y calcárea que aflora en la cuenca occidental del centro y norte andino del

Perú. En el cinturón MAV el Grupo Goyllarisquizga está constituido principalmente por areniscas cuarzosas de grano fino y medio con estratificación cruzada. En la base, estas areniscas están intercaladas con pequeños lentes de carbón, estratos delgados de lutitas de color verde y marrón y hacia el techo intercalaciones de basaltos cavernosos con potencias de 1 y 2 m.

En la zona de Vinchos (Figura 2) el Grupo Goyllarisquizga aflora fuera del área del yacimiento en la parte sur y sureste, mientras que en Milpo y Atacocha yacen en discordancia paralela encima del Grupo Pucará, con un espesor estimado de 1000 m (Wilson, 1955) (Figura 5).

### ***Formación Machay***

Las rocas carbonatadas del Cretáceo Medio pertenecientes a la Formación Machay fueron descritas por primera vez en 1925 por Mc Laughlin, pero fue Benavides quien en 1956 le dio la denominación de formación. Se trata de estratos delgados de caliza de 10 a 25 cm de colores grises, intercalada dentro de la caliza hay una secuencia de basaltos a manera de sills, para finalizar nuevamente en calizas. En Milpo (Figura 2) esta formación tiene un espesor aproximado de 250 m. y conforma núcleos de sinclinales y anticlinales. En Atacocha a estas calizas se le conoce con el nombre de Calizas Chicrín y su espesor es de unos 100 m (Figura 5).

Según el cuadrángulo de Ingemmet (1996), las calizas Machay y las Calizas Chicrín serían equivalentes a la Formación Chulec.

### ***Formación Pocobamba***

Las rocas sedimentarias continentales detríticas de la Formación Pocobamba se depositaron durante el Eoceno superior. En el cinturón MAV esta formación aflora en el área de Atacocha y consta de brechas con fragmentos subangulosos a subredondeados de calizas del Pucará (Figura 5).

## Columna geológica del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos

Cenozoico	Paleógeno	Cuaternario	Depósitos Cuaternarios		Depósitos aluviales, fluviales y fluvioglaciares	
		Oligoceno	Stocks de Milpo - Atacocha- Vinchos		Conglomerados en una matriz arenácea de color rosa	
			Eoceno	Formación Pocobamba		Brecha sedimentaria con fragmentos subangulosos a sub redondeados de calizas del Pucará
		Paleo cenio				
	Cretácico	Medio	Formación Machay		Calizas grises con una intercalación de basaltos	
		Inferior	Grupo Goyllarisquizga		Areniscas cuarzosas con estratificación cruzada	
Mesozoico	Jurásico	Inferior	Grupo Pucará		Calizas, calizas micríticas, calizas nodulares, chert y brechas calcáreas	
					Skam	
	Triásico	Superior				
		Inferior	Grupo Mitu		Conglomerados y areniscas en una matriz arenácea de color rosa	
Paleozoico	Pérmico	Superior				
		Inferior	Grupo Copacabana		Calizas, calizas arenosas y limolitas calcareas	
	Carbonífero	Superior	Grupo Tarma		Calizas grises intercaladas con lutitas carbonosas, areniscas gris verdosas	
		Inferior	Grupo Ambo		Areniscas intercaladas con limonitas y lutitas	
	Devónico		Grupo Excelsior		Pizarras grises oscuras, pizarras esquistosas y filitas	
Pre Cámbrico			Complejo Marañón		Esquistos sercíticos, cuarcitas y pizarras grises	

*Figura 5. Columna geológica del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos. Modificada de Dávila, 2005 en Excursión a los principales yacimientos de la región de Pasco, 2007.*

## Marco Tectónico-Estructural

De acuerdo a Mégard (1979) en el cinturón de Milpo-Atacocha-Vinchos se evidencian los efectos superpuestos de la Tectónica Hercínica y de la Tectónica Andina. La Fase Tectónica Eohercínica habría generado las filitas y esquistos del Grupo Excelsior. La Fase Tectónica Tardihercínica generó la depositación de secuencias volcánicas y volcanoclásticas del Grupo Mitu, para luego dar lugar a la sedimentación de capas rojas continentales del mismo Grupo. La primera transgresión marina del ciclo Orogénico Andino ocurrió durante el Noriano y está representada por las rocas carbonatas del Pucará.

El cinturón MAV se caracteriza estructuralmente por haber sido afectado por una tectónica compresiva, donde se evidencian diversos sistemas de fallas los que sirvieron como canal de ascenso de los fluidos mineralizantes. En un primer periodo asociado al fallamiento regional se observan estructuras principales como las fallas Milpo-Atacocha en Milpo-Atacocha y a la Falla Pariajirca en Vinchos (Figura 2). La falla Milpo-Atacocha de rumbo N-S, es una falla de movimiento vertical que pone en contacto a las calizas Pucará con el Grupo Goyllarisquizga (Mégard, 1968). La Falla Pariajirca de rumbo N25°-30°O probablemente controló el emplazamiento de los intrusivos que generaron la mineralización en Vinchos.

Otros sistemas de fallas están presentes en la zona de estudio. En Milpo y Atacocha durante otro periodo de fallamiento se desarrollaron fracturas de rumbo NE. Estas estructuras parecen estar relacionadas con la etapa de emplazamiento de los stocks y de la mineralización asociada. Durante un posterior episodio se desarrollaron fracturas cortas de rumbo NW que también están relacionadas con los cuerpos mineralizados tanto en Milpo como en Atacocha. Localmente, en Atacocha, se ha determinado tres sistemas de cuerpos intrusivos. El primer sistema está constituido por los intrusivos Santa Bárbara con dirección NS y el intrusivo San Gerardo con dirección NW. El segundo sistema tiene una dirección NS y el tercero es un conjunto de brechas heterolíticas también de dirección principal NS.

En Vinchos se tiene otro sistema constituido por fallas N70°-80°O, evidenciado por la falla Puhujanca y un tercer sistema conformado por estructuras de rumbo N40°-50°E representado por la Falla Mamavinchos (Figura 2) (Farfán, 2007). También en Vinchos, existe además un cuarto sistema de rumbo N-S poco evidente la cual ha

generado fracturas abiertas las que al igual que en los casos anteriores alberga cuerpos mineralizados.

Como en el resto de la región, los pliegues en el cinturón MAV han sido ocasionados por fuerzas compresivas, el más importante de estos, un anticlinal asimétrico de rumbo NS, paralelo al plegamiento regional y que se inclina 40° al sur, está presente en el área de Milpo y Atacocha. Otros pliegues secundarios y transversales al plegamiento regional se encuentran al norte.

### **2.2.2. Rocas Magmáticas**

Las rocas magmáticas en el cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos son principalmente de composición granodiorítica a diorítica e incluso tonalítica (Figura 2). Estas rocas cortan a manera de stocks a los sedimentos paleozoicos, mesozoicos y cenozoicos.

En el sector de Milpo-Atacocha (Figura 2) afloran stocks de dimensiones <1 km de diámetro, diques y sills de composición diorítica-granodiorítica (Figura 2). Investigaciones de campo y sobre todo microscópicas han mostrado que estos cuerpos intrusivos varían composicionalmente constituyendo entre otros pórfidos dioríticos con hornblenda, pórfidos dioríticos con hornblenda y biotita, pórfidos granodioríticos con hornblenda, pórfidos granodioríticos o tonalitas con biotita  $\pm$  hornblenda, microgranodioritas y lamprófidos (Gunnesh y Gunnesh, 1982; Gunnesh, 1984).

La actividad magmática tuvo lugar en varios pulsos y aparentemente controlada por fallas mayores andinas como las fallas Chaulán-Rondoni, Milpo-Atacocha, Longreras, Pariajirca y otras fallas adyacentes (Figura 2).

De acuerdo a Soler y Bonhomme (1988) las edades de las rocas magmáticas de Milpo-Atacocha oscilan entre 29.3 $\pm$ 2.5 Ma y 25.9 $\pm$ 1.5 Ma correspondiendo al Oligoceno. Estas edades se obtuvieron de dataciones radiométricas K/Ar realizadas en cuarzdioritas porfíricas y granodioritas pertenecientes a las intrusiones asociadas con los depósitos de Milpo y Atacocha, las cuales presentaban plagioclasas parcialmente alteradas a carbonatos y sericita.

En el sector de Vinchos, 12 km al norte de Atacocha (Figura 2) aflora un conjunto de stocks intrusivos los cuales están estrechamente relacionados a la mineralización (ver más adelante) del distrito de Vinchos. Los más importantes de estos stocks, los cuales están controlados por las fallas Pariajirca y Puhuaianca (Figura 2) son la Granodiorita Pariajirca que ocurre al noroeste de Vinchos e intruye a rocas silico-

clásticas silicificadas del Grupo Tarma, la Tonalita Mancacoto, ubicado al sur de Vinchos, además de las dioritas Mancacoto. La mayoría de estos stocks se caracterizan por contener abundante biotita±hornblenda. También en el sector de Vinchos, cerca de Chiuchin, aflora un stock diorítico. Otro stock que aflora en esta área es la Diorita Vilcabamba el cual presenta una textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa y además de biotita anhedral.

Más importante en términos de extensión, es el stock granodiorítico Azul Huanca el cual corta a las rocas del Paleozoico inferior. Este stock de textura fanerítica holocristalina representa el más grande afloramiento intrusivo del sector de Vinchos.

Otro grupo de stocks importantes pertenecientes al cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos ocurre al este de Cerro de Pasco en el antiguo distrito minero de La Quinua-Chuquitambo (Figura 2). Allí, un stock porfirítico de composición riodacítica (Figura 2) corta a rocas sedimentarias Mesozoicas. Según Cobbing et al (1982) este stock tendría una edad K/Ar de  $28.7 \pm 0.5$  Ma correspondiendo al Oligoceno superior. Presumiblemente, otro stock cercano a la Quinua, el de Chuquitambo tendría una edad similar.

### 2.2.3. Metalogenia

Metalogénicamente, el cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos se caracteriza por la presencia de numerosos sistemas polimetálicos principalmente de Zn-Pb-Ag y Cu relacionados a skarn. También son importantes una serie de cuerpos epitermales polimetálicos (Zn-Pb-Ag-Cu) sin relación a calcosilicatos, además de algunos pórfidos aparentemente subeconómicos de Cu-Au-Mo-W (Bendezú, comunicación personal).

Según los datos radiométricos disponibles, el cinturón de Milpo-Atacocha-Vinchos se habría desarrollado durante el Oligoceno entre 29 Ma y 26 Ma (e.g., Soler, 1988). De sur a norte los depósitos de este cinturón descritos y/o mencionados, y en buena parte reconocidos *in situ*, en este trabajo son: La Quinua-Chuquitambo, Milpo, Atacocha, Vinchos, Jogochuccho y Mal Paso (Figura 2).

**La Quinua y Chuquitambo** están localizados en el extremo sur reconocido del cinturón MAV (Figura 2). Ambos depósitos fueron activamente explotados por oro desde la época de la colonia hasta fines del siglo XIX (e.g., De Rivero, 1828). De acuerdo a la descripción de Raimondi (1878) y a observaciones más recientes (Bendezú,



comunicación personal) ambos depósitos representarían mineralización de tipo pórfido de Au-(Cu).

Más al norte ocurren los centros mineros de **Milpo** y **Atacocha** (Figura 2) donde básicamente se explotan menas polimetálicas (Zn-Pb-Ag-Cu).

El yacimiento de **Milpo** (Figura 6) es un importante productor polimetálico a nivel nacional con recursos reportados (medidos e indicados) al 2006 de 12.8 Mt con 0.97 oz/t Ag, 0.27% Pb, 5.61% Zn, 0.57% Cu (Compañía Minera Milpo, 2006). En Milpo la mineralización más importante ocurre en forma de cuerpos de reemplazamiento metasomático de contacto entre los intrusivos andesíticos-dacíticos con las calizas Pucará (i.e., relacionada a skarn) y en una variedad de brechas. En menor proporción como vetas mineralizadas relacionadas a diques y fracturas en las formaciones Pucará y Goyllarisquizga (Ly, 1975) (Figura 6).

En el caso de la mineralización relacionada a skarn, los cuerpos consisten predominantemente de galena y esfalerita acompañados de generalmente de calcosilicatos, pirita, fluorita y calcita. En términos de su posición, estos cuerpos estarían relacionados al exoskarn del sistema. Otros cuerpos mineralizados ocurren dentro del stock intrusivo (o endoskarn) y ocurren con una mineralogía similar a aquellos relacionados al exoskarn.

También se reportan cuerpos de brechas relacionadas a los intrusivos. Estos cuerpos forman una franja de brecha de geometría irregular compuesta por fragmentos angulosos del skarn, menas y caliza, cementados por arcillas y material molido.

Otros cuerpos de brecha ocurren post-mineralización y sin asociación evidente a los stocks. Estos cuerpos se encuentran en forma paralela a los cuerpos asociados al exoskarn dentro de una caliza bituminosa y chertosa. Los fragmentos de esta brecha están compuestos de esfalerita, galena subordinada y caliza negra. Se cree que se estas brechas se formaron por colapso favorecido por un proceso kárstico.

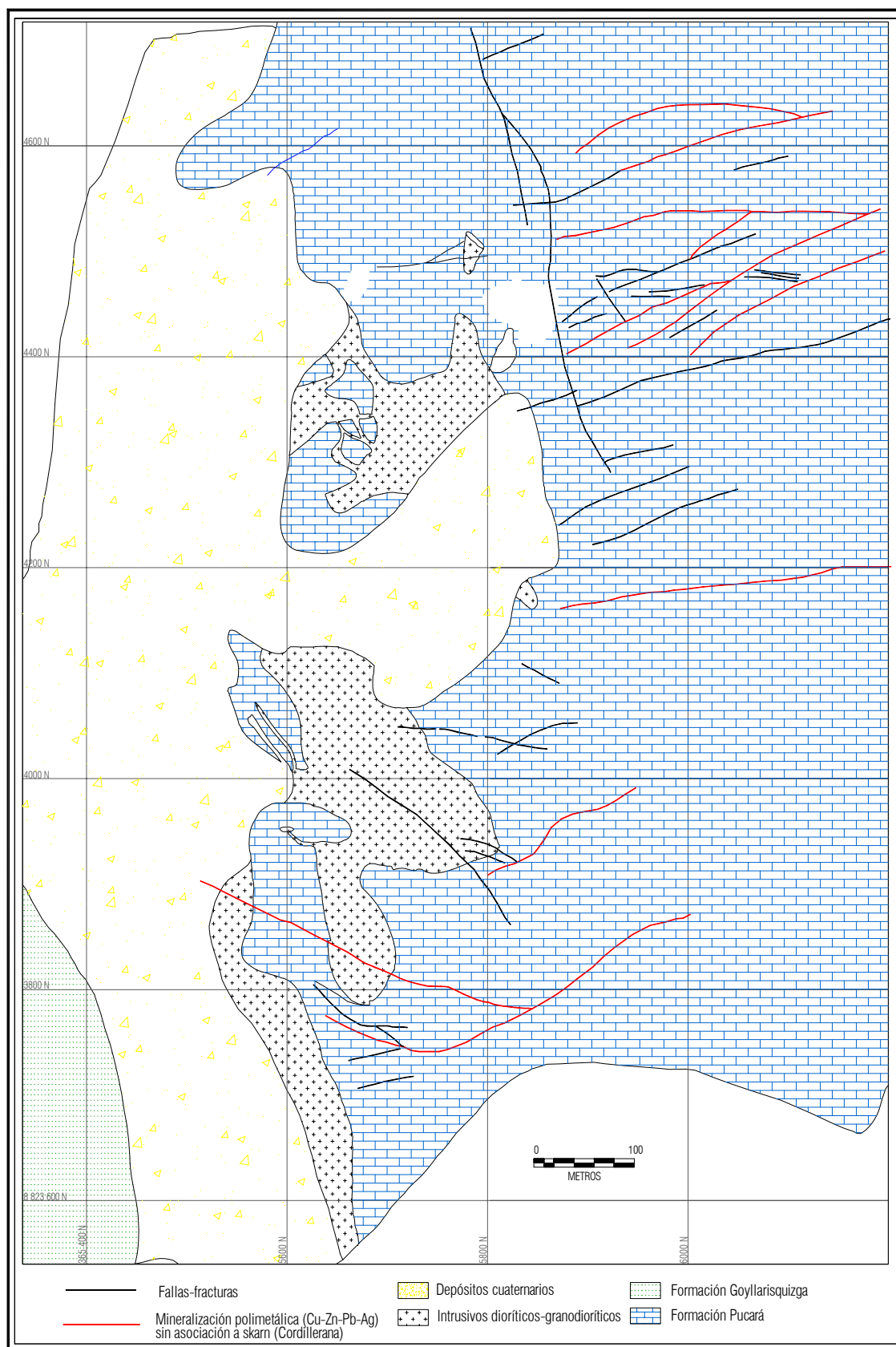
Menos importantes son las vetas relacionadas a diques. Las vetas están alojadas en calizas intruídas por diques. En superficie y, en general, en los niveles altos estas vetas consisten de tetraedrita, galena y esfalerita y en profundidad persiste galena con valores de plata y también esfalerita. Otras vetas ocurren en calizas sin asociación evidente a intrusivos. En este caso, la galena es el mineral predominante y está asociado a elevadas concentraciones de plata. También de acuerdo a Ly (1975) una serie de vetas alojadas en la Formación Goyllarisquizga consiste de galena, esfalerita, pirita además de cantidades subordinadas de tetraedrita y cuarzo (Ly, 1975).

El yacimiento de **Atacocha** está situado a unos pocos kilómetros al norte de Milpo (Figura 8). La operación se viene desarrollando desde los años 30 y se han explotado más de 29.7 Mt de mineral. Actualmente, las reservas probadas y probables (al 31/05/2007, [www.atacocha.com.pe](http://www.atacocha.com.pe)), ascienden a 8.1 Mt además de un potencial aproximado de 17 Mt. Al igual que Milpo, Atacocha es un yacimiento polimetálico principalmente de Zn, Pb, Ag y Cu.

De acuerdo a un reporte ofrecido por el staff de geólogos de Atacocha se puede considerar dos etapas de mineralización en Atacocha: (1) Flujos hidrotermales silíceos relacionados a la actividad magmática oligocénica constituyen una primera fase relativamente ácida, que se presenta principalmente en la zona de Atacocha y Curiajasha. Allí se observan una gran cantidad de brechas silíceas. Los minerales de alteración de esta primera fase son: caolinita, sericita, illita y halloysita. Una segunda fase la constituye el skarn prógrado que se manifiesta con la formación de calcosilicatos, emplazados en las rocas calcáreas formando una aureola alrededor de los intrusivos de composición dacítica. Seguidamente una fase de skarn retrógrado se sobrepone al skarn prógrado dando origen a la primera etapa de mineralización económica formando cuerpos que se emplazan alrededor del intrusivo de Santa Barbara y en la zona profunda de Atacocha. La mineralización consiste de marmatita, pirita, calcopirita, magnetita, fluorita, molibdenita y un aporte posterior de esfalerita rubia en las aureolas del skarn. La cuarta zona diferenciada comprende relleno de fracturas y mineralización de las brechas heterolíticas con Ag, Pb y Zn, formando no sólo vetas sino también cuerpos mineralizados de reemplazamiento asociados a alteraciones de skarn magnesianos y eventos hidrotermales aparentemente de menor temperatura en las zonas de Atacocha y San Gerardo. La mineralización en esta fase consiste en esfalerita, galena, pirita, calcopirita, tetraedrita, calcita, rodocrosita, y cuarzo.

En la parte adyacente a las fallas Atacocha y Longreras se ha definido corredores de brechas mineralizadas en superficie. Al mismo tiempo por medio de sondajes diamantinos se ha comprobado la continuidad de la mineralización a cotas inferiores a los niveles de explotación (Nv. 3480 Santa Bárbara y Nv. 3180 Atacocha) ([www.atacocha.com.pe](http://www.atacocha.com.pe)).

En el área de Santa Bárbara (Figura 2) tal, y como lo describe Gunnesch (1984), existiría un pórfido de cobre, donde la mena estaría constituida por pirita y subordinadamente por calcopirita las cuales se presentan diseminadas o en forma de pequeñas vetas. Los minerales de ganga son cuarzo y calcita.



*Figura 6: Mapa geológico de Milpo. Ligeramente modificado de Abele y Bellido (1952).*

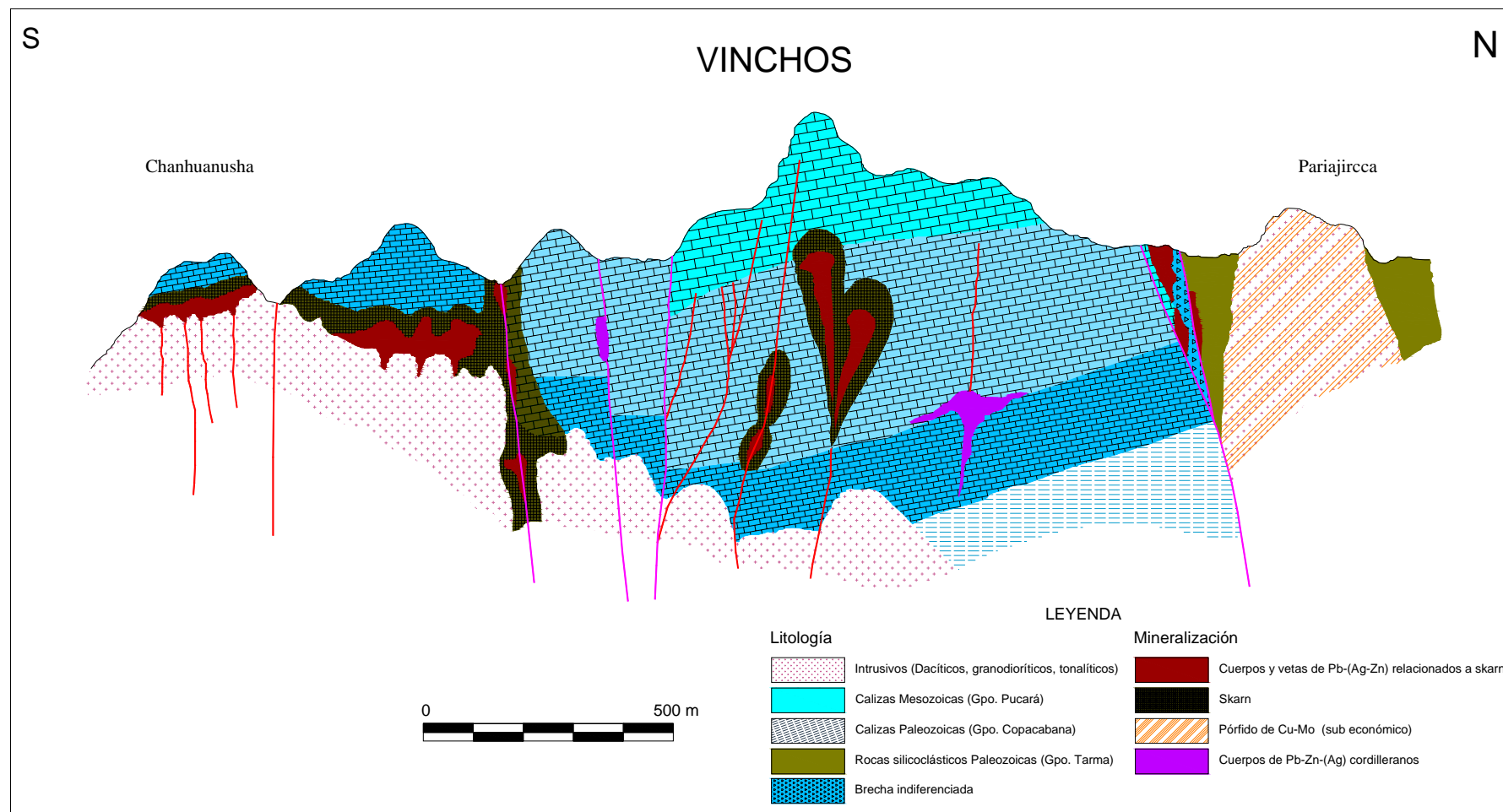
El distrito minero argentífero de **Vinchos** se ubica a unos 20 km al norte de Cerro de Pasco (Figuras 2 y 7). Al igual que los otros centros mineros de la región, Vinchos tiene una historia minera por lo menos desde el periodo colonial. En similitud a Milpo y Atacocha, la mineralización en Vinchos está asociado a un conjunto de stocks de composición tonalítica-granodiorítica-diorítica los cuales intruyen calizas del Grupo Pucará. Estos stocks generaron skarn de contacto en las calizas Pucará además de vetas de mineralogía con contenido de calcosilicatos. También se han reconocido importantes cuerpos de brecha mineralizados asociados a un pórfido con débil alteración hidrotermal y mineralización.

Según el staff de geólogos de Empresa Explotadora de Vinchos, el skarn generado por los stocks dioríticos parecen no tener relación con la generación de mineralización económica, mientras que los stocks tonalíticos, estarían asociados directamente con la mineralización económica. Esto es discernible en el skarn Raulito (skarn de Cu) donde se observa las zonas de endoskarn y exoskarn de mineralogía dominada por calcosilicatos como diópsido, hedenbergita, wollastonita, tremolita-actinolita, clorita, epidota y micas acompañando mineralización de Cu-Pb-Zn-Ag. En este cuerpo asociado a skarn se observa un alto contenido de magnetita asociado principalmente a pirita, pirrotita, calcopirita y en menor proporción bornita, esfalerita y galena.

Cuerpos relacionados a skarn se presentan además en zonas de ensanchamiento con galena asociada a altos contenido de plata además de platas rojas (pirargirita-proustita). Como minerales de ganga se distingue pirrotita masiva, disseminaciones de pirita y trazas de magnetita. La mineralogía de skarn progrado está conformada por hedenbergita, andradita, rodocrosita, magnetita y pirrotita mientras que la alteración retrograda está constituida por pirolusita, actinolita-tremolita y clorita.

Estructuras tipo “stockworks” constituyen un tercer tipo de cuerpos mineralizados. Estas se habrían producido por el intenso fracturamiento de las calizas que se encuentran dentro de las fallas. Estos cuerpos se caracterizan por una gran cantidad de vetillas rellenas con óxidos de manganeso y hematita produciendo en las calizas una alteración-recristalización de color marrón a gris oscuro y negro, así como la presencia de múltiples vetillas rellenas con sulfuros y manganosiderita?.

En la zona de Pariajirca y asociado a la falla Pariajirca, se han formado cuerpos de brecha de colapso con morfología tipo chimeneas constituyendo un cuarto tipo de mineralización. Esta consiste de pirita, marmatita, galena, calcopirita, cuarzo y calcita.



*Figura 7: Sección longitudinal del centro mineralizado de Vinchos. Modificado de Farfán 2006, en Excursión a los principales yacimientos de la región de Cerro de Pasco 2006.*

También en esta zona, el intrusivo de textura porfirítica con fenos de plagioclasa, cuarzo y biotita mencionado desarrolló un sistema de tipo pórfido de Cu-Mo, aunque de carácter sub-económico.

En el sector de **Jogochuccho** ubicado a 40 km. al norte de Cerro de Pasco (Figura 2) ocurren delgadas vetas polimetálicas (Zn-Pb) particularmente ricas en plata (Jogochuccho y Azulmina). Estas ocurren alojadas en filitas, estas vetas de acuerdo a los muestreos preliminares subterráneos contienen hasta 78 oz/t Ag; 18% Pb, y 12% Zn ([www.volcan.com.pe](http://www.volcan.com.pe)).

Como parte también del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos, a unos 10 km al norte de Vinchos se encuentra el depósito de Zn-Pb-Cu-Ag de **Mal Paso** (Figura 2). En Mal Paso puede distinguirse parte de un stock de composición granodiorítica intruyendo una secuencia de rocas carbonatadas, principalmente calizas gris azuladas oscuras, probablemente del Paleozoico superior pero aun indiferenciadas. Seery (1958) en Petersen (1962), describe en Mal Paso mineralización de calcopirita en una zona de skarn con granate, calcita, tremolita, piroxenos y plagioclasa. El mismo autor describe esfalerita marmatítica en un manto localizado en una posición distal.

Según Bendezú (comunicación personal) el zonamiento descrito por Seery abarca la totalidad de Mal Paso en un área de cerca de 3x4 km. Con una remarcable similitud a muchos de los cuerpos mineralizados desprovistos de calcosilicatos de Vinchos y Atacocha. Las vetas y mantos de Zn-Pb-Ag de Mal Paso consisten predominantemente de esfalerita rica en hierro (marmatita), galena, pirrotita además de cantidades generalmente subordinadas de pirita, carbonatos, cuarzo y sericita (Bendezú, comunicación personal).

Por similitud composicional de los cuerpos intrusivos observados y su posición geográfica, los centros intrusivos en **Jogochuccho**, **Rondoní** (15 km al noroeste de Mal Paso) y **Huaraucaca** (20 km al noroeste de Mal Paso) además de la mineralización asociada en cada caso, pertenecerían al cinturón de Milpo-Atacocha-Vinchos (Bendezú, comunicación personal).

## **2.3. Cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca**

### **2.3.1. Estratigrafía y marco tectónico-estructural**

La columna estratigráfica en el cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca consiste en una secuencia de rocas de edades que van desde el Paleozoico inferior a Terciario (Figura 8). En el piso la secuencia consiste básicamente de rocas detríticas del Devónico y Pérmico de los Grupos Excelsior y Mitu respectivamente, las cuales infrayacen a rocas carbonatadas del Grupo Pucará de edad Triásico superior- Jurasico inferior. Suprayaciendo a esta secuencia se presentan rocas detríticas de la Formación Pocobamba del Eoceno superior. La secuencia culmina con carbonatos impuros y sedimentos detríticos de la Formación Calera igualmente de edad Eoceno superior.

#### ***Grupo Excelsior***

Las rocas del grupo Excelsior constituyen las rocas más antiguas del cinturón de Cerro de Pasco-Colquijirca. Se tratan predominantemente de filitas y pizarras gris parduscas con sericita, de probable edad Devoniana. Afloran alrededor de la ciudad de Cerro de Pasco y hacia el Noroeste de Colquijirca. Una mejor exposición se da en el núcleo del anticlinal de Cerro de Pasco donde son comunes además de filitas, delgadas intercalaciones de cuarcitas (Ángeles, 1993). De acuerdo a una columna levantada por Chronic (en Newell, 1953) el Grupo Excelsior excedería los 1500 m de potencia en las inmediaciones de Yanahuanca, aunque inmediatamente al sur del tajo Raúl Rojas, en Cerro de Pasco y de acuerdo a datos de mina sólo se tienen registrados menos de 400 m de espesor (Figura 8).

#### ***Grupo Mitu***

El Grupo Mitu esta presente en el cinturón Cerro de Pasco Colquijirca en dos unidades: una basal conglomerádica y otra suprayacente areniscosa. Ambas unidades están presentes en la zona y yacen en discordancia sobre el grupo Excelsior (Figura 8).

La unidad conglomerádica consiste en clastos de 3 o 4 cm de cuarcita y cuarzo lechoso y en proporciones mucho menores, filitas. La matriz tiene la misma composición pero con dimensiones de limos a arenas. Esta unidad aparece al NO de Colquijirca conformando un anticlinal. El espesor de esta unidad es de

aproximadamente 400 m (Ángeles, 1993). La unidad suprayacente consiste de areniscas rojas con lentes de conglomerados gris oscuros de características litológicas similares a la unidad inferior. La base de esta unidad son capas rojas de grano fino.

El Grupo Mitu en la zona de Cerro de Pasco, aflora fuera del área del yacimiento, hacia el sur y suroeste, mientras que en Colquijirca se distinguen las dos unidades con un espesor estimado de 400 m para la primera y 600 m para la segunda (Ángeles, 1993).

### ***Grupo Pucará***

Las rocas carbonatadas del Triásico-Jurásico pertenecientes al Grupo Pucará (Figura 8) son las principales roca caja de los yacimientos San Gregorio y Cerro de Pasco. Se trata mayoritariamente de calizas, dolomías y calizas dolomíticas con intercalaciones de tobas, lutitas y nódulos de chert.

En Colquijirca, Ángeles (1993) divide al Grupo Pucará en un sector al oeste de la Falla Longitudinal, llamada informalmente Pucará Occidental y un sector este relativo a dicha falla atribuido formalmente a la Formación Chambará (Mégard, 1968).

El Pucará Occidental; con un espesor medido de 357 m, comienza siempre por una brecha gris verdosa denominada “brecha basal”, con fragmentos subredondeados a subangulares de cuarzo y filita, en una matriz areniscosa fina. A continuación un paquete de aproximadamente 20 m de espesor de dolomías color crema en estratos delgados y con fina laminación plana, seguidas de 15 a 20m de cineritas con algunas concreciones de pedernal blanco, los 226 m pertenecientes al resto de la unidad lo conforman dolomías gris claras, pudiéndose observar en este tramo intercalaciones de tobas de grano fino. Hay amplio desarrollo de brechas monogénicas que afectan toda la serie por encima de la primera intercalación tufácea.

La Formación Chambará; está compuesta por mudstones gris oscuros en estratos delgados con intercalaciones de calcarenitas bioclásticas y depósitos piroclásticos de grano fino. Tiene un espesor de al menos 1500 m (Ángeles, 1993).

En Cerro de Pasco el Grupo Pucará tendría un espesor aproximado de 3500 m. (Jenks, 1951) y se caracteriza por presentarse en gruesos estratos de calizas negras carbonosas, calizas dolomíticas y dolomías claras, horizontes bituminosos, con escasos horizontes lutíticos y nódulos de chert.



### ***Formación Pocobamba***

Las rocas de la Formación Pocobamba (Figura 10) consisten de rocas sedimentarias continentales detríticas que se depositaron durante el Eoceno superior. Estas rocas se dividen en dos unidades: Miembro Cacúan y Miembro Shuco, ambos miembros están presentes en la zona.

#### ***Miembro Cacúan***

El nombre de Miembro Cacúan fue dado por Sánchez y León (1997) para reemplazar al anteriormente denominado Miembro inferior de Jenks (1951). Descansa sobre el Pucará Occidental y consiste de areniscas, lutitas, limolitas rojas, calizas blanquecinas y gris oscuras, a veces con sílex y chert. Presenta también conglomerados, con clastos subredondeados y en menor proporción subangulosos. La matriz es calcárea. Tiene un espesor comprendido de unos 300 metros.

En Colquijirca y en parte de Cerro de Pasco se encuentra al este de Sacra Familia (Figura 8) (antes llamado Capas Rojas de Sacra Familia). La parte inferior consiste de argilitas limosas y limolitas rojas, laminadas. Siguen areniscas de grano fino y luego medio, rojas con laminación en artesa además de escasas laminas volcadas (“overturned”). Las calizas “mudstone”, gris oscuras a veces con sílex, aparentemente provenientes de la Formación Chambará, predominan sobre algunos clastos de limolitas y areniscas rojas provenientes del Grupo Mitu o de la Formación Goyllarisquizga (Ángeles, 1999).

#### ***Miembro Shuco***

El Conglomerado Shuco es esencialmente un depósito aluvial. Cerca a la Falla Longitudinal el Miembro Shuco consiste de una brecha casi monolitológica con clastos de calizas y sílex Chambará. La mayor parte de los clastos tienen un tamaño entre 2 y 30 cm., el redondeamiento es variable, pero predominan elementos angulosos a subredondeados, frecuentemente en lajas y no se observa matriz. Algo más al oeste de esta falla, las brechas, están algo más seleccionadas, el grado de redondez es muy variable, predominando los clastos subredondeados a subangulares. Mientras que al oeste de la falla del Río San Juan-Venenococha, la brecha presenta hasta más de un 50% de clastos de dolomías del Pucará Occidental, especialmente en tallas mayores (Ángeles, 1999). En el sector de Colquijirca-Cerro de Pasco, el espesor de esta unidad es muy variable tal vez superior a los 200m.

### ***Formación Calera***

La secuencia de rocas generalmente carbonatadas del Eoceno superior pertenecientes a la Formación Calera (Figura 10) comienza con sedimentos detríticos, y en menor medida carbonatados y volcanoclásticos. Una datación radiométrica K/Ar sobre biotita de una delgada capa de toba arrojó una edad entre 36 y 37 Ma (Noble et al, 1999).

La parte media de la Formación Calera contiene las rocas más características de esta formación: calizas gris muy claras, en bancos potentes. Por lo general la parte baja de este intervalo es calcárea, la parte alta contiene además calizas margosas e intercalaciones de argilitas gris verdosas y verdes, probablemente derivadas de piroclastos. La parte superior no presenta importantes afloramientos en este cinturón aunque su mejor exposición se halla en Colquijirca. Allí esta constituida por delgadas intercalaciones de argilitas, limolitas, arenitas, dolomías margosas, dolomías y chert. Se estima que el espesor total de la Formación Calera supera los 270m.

### **Marco Tectónico-Estructural**

Estructuralmente, el cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca se caracteriza por haber sido afectado por el plegamiento Terciario, el cual parece ser anterior al emplazamiento de los complejos volcánicos y es principalmente compresivo (e.g., Bendezú, 2007). Los pliegues tienen una dirección NNE y siguen la configuración de los Andes. Toda la secuencia Pérmico-Terciaria se halla plegada desde el norte de Cerro de Pasco hasta San Gregorio, la intensidad de este plegamiento aumenta hacia el este, con la proximidad a la falla Longitudinal.

La falla Longitudinal (Figura 2), de rumbo N-S es la principal estructura en este cinturón y posiblemente estuvo activa desde el Jurásico (Ángeles, 1993). Esta falla habría tenido control sobre la sedimentación carbonatada del Triásico (Grupo Pucará). Otro rasgo estructural pre-terciario presente en la región de estudio es la falla del Río San Juan-Venenococha, la cual explica el contraste en el plegamiento y en la sedimentación a ambos lados del río San Juan (Ángeles, 1993).

Otro sistema de fracturas reconocido en el distrito de Colquijirca sigue las tendencias NO y NE (Figura 2). En Colquijirca las principales fases tectónicas tuvieron lugar presumiblemente durante los eventos tectónicos Aymara (26 Ma) y Quechua (17 Ma) (Ángeles 1993). Fallas y fracturas anulares con orientación NO estarían

## Columna geológica del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca

<b>Cenozoico</b>	<b>Cuaternario</b>		Depósitos Cuaternarios		Depositos aluviales, fluviales y fluvioglaciares
	<b>Neógeno</b>	Mioceno Medio	Centros volcánicos de Colquijirca, Cerro de Pasco y Yanamate		Domos - lavas de composición dacítica a cuarzo latítica y diques de composición cuarzo - monzonítica
	<b>Paleógeno</b>	Eoceno Superior	Formación Calera		Dolomías, dolomías margosas, calizas margosas y argilitas verdosas Calizas grises muy claras Sedimentos detriticos y vulcanoclásticos
			Miembro Shuco		Brecha casi monolítica con clastos de caliza y sílex de la Fm. Chambará.
			Miembro Cacuan		Areniscas, lutitas, limonitas rojas, areniscas limosas y brechas conglomerádicas
<b>Mesozoico</b>	<b>Jurásico</b>	Inferior	Grupo Pucará		Pucará Occidental: dolomías cremas, brechas y dolomías secundarias
			Pucará Occidental		
			Formación Chambará		
	<b>Triásico</b>	Superior			Fm Chambará: calizas mudstones gris con intercalaciones de calcoarenitas bioclásticas
<b>Paleozoico</b>	<b>Triásico</b>	Inferior	Grupo Mitu		Areniscas rojas con lentes de conglomerados gris oscuros
		Superior			Clastos de cuarcita y cuarzo lechoso
	<b>Devónico</b>		Grupo Excelsior		Filitas y pizarras gris parduzcas con sericita

Figura 8. Columna geológica del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca. Adaptada y modificada de Staff Colquijirca-Sociedad Minera El Brocal SAA.

relacionadas al colapso del complejo volcánico Marcapunta y habrían tenido un rol importante en el ascenso y distribución de las soluciones mineralizantes.

Al igual que en Colquijirca, se ha reconocido que en Cerro de Pasco los múltiples episodios de plegamientos de dirección NO-SE, antecedieron a la actividad magmática la cual se desarrolló durante el Mioceno intermedio a superior. Otro sistema de fallas en este distrito es el fallamiento transversal de rumbo E-W que corta al cuello volcánico y al cuerpo de sílice-pirita en la mina de Cerro de Pasco. Estas fracturas albergan mineralización de Cu-Au-Ag.

Por último, un rasgo estructural secundario en este cinturón es la zona de falla de la laguna Quiulacocha (de edad pre-cenozoica), de orientación SO-NE (Figura 2).

### **2.3.2. Rocas Magmáticas**

#### **Centros Volcánicos**

Los centros volcánicos reconocidos en este cinturón son: Cerro de Pasco, Marcapunta y Yanamate, cuyo emplazamiento habría sido controlado por la falla Longitudinal (Figura 2). La actividad intrusiva reconocida en el sector del proyecto El Águila pertenecería también a este cinturón (ver más adelante).

#### ***Cerro de Pasco***

El centro volcánico Cerro de Pasco es un complejo domo-diatrema de 2.5 km de diámetro. La unidad volcánica más antigua es el Aglomerado Rumillana, una roca volcanoclástica dacítica con clastos de filita, caliza, chert y algunos fragmentos angulares de rocas ígneas porfiríticas alteradas (Rogers, 1983). En las partes oeste y sur de la diatrema, el aglomerado Rumillana es intruído por rocas félsicas llamadas localmente “cuarzo-monzonita porfirítica Cerro”. Muchas de esas rocas poseen foliación de flujo bien desarrollada y una matriz de materiales de grano muy fino. Estos domos y el Aglomerado Rumillana son cortados por diques de cuarzo-latita porfirítica o pórfido cuarzo-monzonítico (Figura 2). Los diques porfiríticos se extienden en las rocas sedimentarias en el margen este del conducto volcánico. Aunque la mayoría de la actividad ígnea precede a la mineralización, algunos diques de cuarzo-latita porfirítica

albitizados tardíos cortan vetas de enargita en la diatrema (Lacy, 1957), es decir el último pulso de la actividad ígnea estuvo acompañado por alteración hidrotermal. Por otro lado la presencia de estratificación cruzada bien desarrollada y estructuras de duna sugerirían depósitos tipo “base o ground surge” (Lacy, 1957).

Edades K-Ar tomadas de minerales de los domos y diques están en el rango de  $14.5 \pm 0.2$  Ma (Noble y Silberman, 1977) correspondiendo al Mioceno medio. Del mismo modo geocronología U/Pb en zircón, realizadas por Baumgartner et al (2007) indica que la actividad magmática ocurrió entre aproximadamente  $15.92 \pm 0.07$  y  $15.14 \pm 0.06$  Ma.

### ***Marcapunta***

El complejo volcánico domo-diatrema de Marcapunta tiene unos 650 m de diámetro (Barba, 1992) y está emplazada en el centro del distrito de Colquijirca (Figura 2) (Sillitoe, 2001; Bendezú et al, 2002; Sarmiento 2004). De acuerdo a Vidal et al (1984) el complejo volcánico Marcapunta se habría desarrollado a partir de un evento temprano tipo piroclástico-lávico llamado Tufos Unish, el cual luego habría evolucionado a una fase efusiva tipo domo-lavas de composición cuarzolatítica a dacítica, denominado “Intrusivo Marcapunta” (Figura 2). Brechas de explosión e inyección y depósitos piroclásticos típicos de los conductos de diatremas han sido extensamente reconocidos en profundidad. Fallas normales con buzamiento interior localizadas en la periferia sugieren que el edificio entero colapsó, posiblemente antes de los principales episodios de mineralización. Vidal et al. (1984) dataron los lava-domos en  $11.5 \pm 0.4$  Ma. y la actividad hidrotermal en  $10.8 \pm 0.3$  Ma correspondiendo al Mioceno superior. Más recientemente dataciones Ar/Ar han revelado que la actividad volcánica se habría producido al menos entre 12.9-12.4 Ma (Bendezú, 2007).

Por último, en el sector del yacimiento San Gregorio taladros de perforación diamantina interceptaron diques de composición basáltica (Bendezú, 2007).

### ***Yanamate***

Los afloramientos del centro volcánico Yanamate son escasos y se encuentran expuestos al E y SE de la Laguna Yanamate. Estos están constituidos por piroclastos, domos y diques.

El relleno piroclástico parece componerse casi exclusivamente de brechas. La matriz es tufácea y los elementos gruesos se componen en mayor proporción de calizas y en menor medida de sílex y fragmentos de los domos. Los domos y diques presentan textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo, en una fina matriz indiferenciada (Figura 2). Además en la parte norte de la exposición del cuello volcánico se halla unos afloramientos de litología similar a la de los domos y diques, pero de aspecto denso, masivo y foliación pobremente definida. Estas facies podrían ser parte de lava-domos.

Los lava-domos están datados en  $13.1 \pm 1.1$  Ma y  $15.2 \pm 0.4$  (Soler y Bonhome, 1988) según edades K-Ar tomadas sobre plagioclasa y roca total respectivamente. Por tratarse plagioclasa algo sericitizada, los autores consideran la mínima de estas edades para el emplazamiento de la roca lo que correspondería al Mioceno medio, es decir, en parte contemporáneo a Cerro de Pasco y ligeramente más antiguo que el de Marcapunta.

### **2.3.3. Metalogenia**

El cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca se caracteriza por sus grandes yacimientos de Zn-Pb-Cu-(Ag-Au) considerablemente más voluminosos que aquellos pertenecientes al cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos. Estos yacimientos por sus características pueden, en el sentido de Sawkins (1972) y Einaudi (1977, 1982), ser clasificados como yacimientos Cordilleranos (“Cordilleran vein deposits” o “Cordilleran base metal lodes”). De acuerdo a estos autores las características más prominentes de los yacimientos Cordilleranos incluyen: I.- un ensamble mineral característico de alta sulfuración y típicamente asociado a alteración argílica avanzada a sericitica. II.- Zonamiento marcado desde núcleos de Cu a minerales externos de Zn-Pb-(Ag). III.- Textura rica en sulfuros a localmente masiva con contenidos de sulfuros de entre 30-50% en volumen y IV.- básicamente una asociación común de metales económicamente interesantes, esto es, Cu-Zn-Pb±(Ag-Au).

Los depósitos minerales del cinturón de Cerro de Pasco-Colquijirca son por su volumen los más importantes de los tres cinturones tratados en este trabajo. Así, en Cerro de Pasco se han reportado ~175 millones de toneladas con 7% de Zn, 2% de Pb y 3 oz/tn Ag. De una importancia colectiva similar figuran los depósitos de Colquijirca, entre ellos San Gregorio con un tonelaje de 70 Mt y 8.06% Zn y 2.26% Pb, Marcapunta Norte (50 Mt @ 1.9% Cu, 0.75 oz/t Ag y 0.34 g/t Au), Marcapunta Oeste (12 Mt @

1.82 % Cu, 0.73 oz/tn Ag y 0.75 g/t Au) y Colquijirca (30-40 Mt @ 6% Zn, 3% Pb, 5 oz/t Ag y 0.03-0.05% Bi) (Referencias, Yaringaño et al., 1997, Vidal y Ligarda, 2003, Memoria anual Sociedad Minera El Brocal SAA, 2006).

Los depósitos minerales del histórico distrito minero de **Colquijirca** (Figura 9) son básicamente del tipo Cordillerano (sensu Einaudi, 1977), aunque también se han reconocido pequeñas manifestaciones epitermales de carácter talvez sub-económico de Au-(Ag) del tipo “high sulfidation”. La mineralización Cordillerana está en parte alojada dentro del complejo volcánico de Marcapunta pero fundamentalmente está alojada en rocas carbonatadas tanto del Grupo Pucará (principalmente en San Gregorio) como de la Formación Pocobamba (básicamente en Colquijirca) (Figuras 2 y 8 ).

Visto a escala del distrito de Colquijirca, y en términos de metales económicamente interesantes, la mineralización Cordillerana consiste de partes internas ricas en Cu-(Au) (depósitos de Marcapunta Norte y Marcapunta Oeste) y partes externas ricas en Zn-Pb-(Ag) (depósitos de Colquijirca y San Gregorio)(Vidal et al., 1997; Bendeزú, 2007). Este zonamiento general de la mineralización ha sido bien documentado en la parte norte del distrito donde mineralógicamente pueden distinguirse, de partes internas a externas, las siguientes principales zonas (Bendeزú, 2007): (i) enargita-pirita-cuarzo-alunita  $\pm$  (luzonita, colusita, baritina). (ii) pirita-calcopirita-dickita-caolinita-siderita-cuarzo  $\pm$  (tenantita, sulfosales de Ag-Bi, bornita, alunita, barita, cuarzo). (iii) pirita-esfalerita-galena-calcopirita-dickita-caolinita-cuarzo  $\pm$  (siderita, hematita, magnetita, alunita.) y (iv) galena-esfalerita-pirita-siderita  $\pm$  (caolinita, dolomita, carbonatos con contenidos de Zn).

Un zonamiento similar esta también presente al sur (Fontboté y Bendeزú, 2001), donde los cuerpos minerales de Zn-Pb-(Ag) de San Gregorio se desarrollan no solamente dentro de la Formación Pocobamba, sino principalmente en rocas carbonatadas del Grupo Pucará.

A escala de depósitos y/o cuerpos individuales principales, la mineralización se presenta principalmente en dos formas. Como vetas dentro del complejo volcánico de Marcapunta (e.g., partes de Marcapunta Norte y Oeste) y como mantos planos y elongados (e.g., Colquijirca) y cuerpos irregulares apilados (e.g., San Gregorio).

La mineralización epitermal de Au-(Ag) del tipo “high sulfidation” ocurre dentro complejo volcánico de Marcapunta. Esta mineralización consiste de vetillas y disseminaciones de óxidos con contenidos de Au-(Ag) asociados a ensambles más tempranos de alteración argílica avanzada principalmente cuarzo-alunita además de



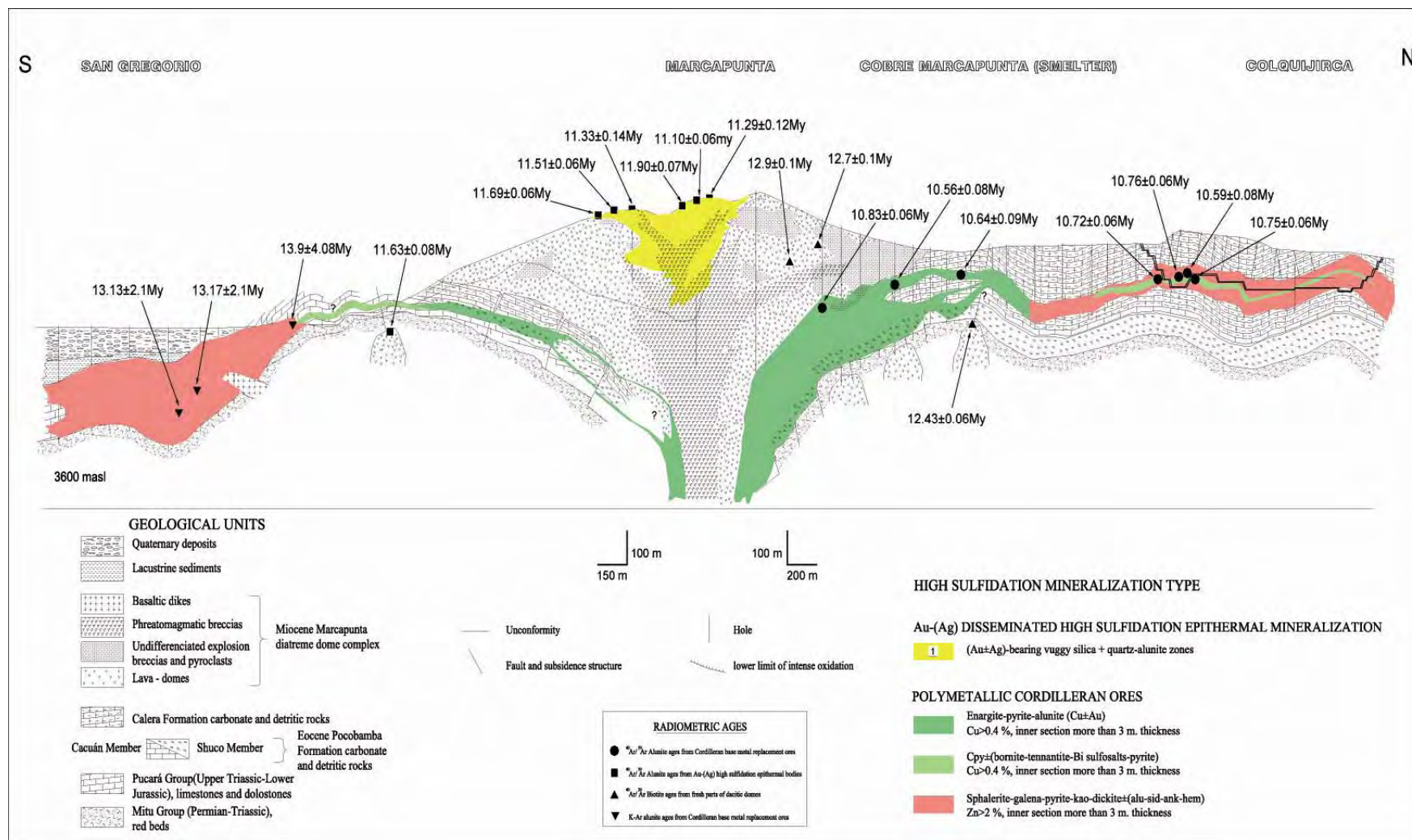


Figura 9: Sección geológica del yacimiento Colquijirca. Extraída de Bendejú, 2006.



“vuggy silica”. La mineralización de Au-(Ag) económicamente más interesante (i.e, 1-2 g/tn Au) ocurre alojada en brechas interpretadas como brechas de origen freatomagmático.

De acuerdo a Bendezú (2007) las evidencias de corte muestran una sobreimposición de la mineralización Cordillerana sobre la mineralización “high sulfidation” de Au-(Ag). Por ejemplo en el flanco norte de la diatrema, los bordes de los cuerpos masivos de enargita-quarzo-alunita se sobreimprimen en parte a los domos dacíticos argilizados/propilitizados y a las brechas freatomagmáticas relacionadas a la mineralización de Au-(Ag). Estas relaciones geométricas son consistentes con las edades absolutas  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  obtenidas sobre alunita asociada a la mineralización Cordillerana ( $10.8$  y  $10.6 \pm 0.06-0.1$  Ma) y sobre alunita asociada a la mineralización epitermal “high sulfidation” ( $11.1$  a  $11.9 \text{ Ma} \pm 0.06-0.1$ ).

Los depósitos minerales del distrito minero de **Cerro de Pasco** (Figura 10) son, al igual que en Colquijirca, principalmente del tipo Cordillerano (Baumgartner, 2007), aunque también se ha reconocido pequeñas ocurrencias de mineralización epitermal del tipo “high sulfidation” de Au-(Ag).

La mineralización Cordillerana está hospedada principalmente en las rocas carbonatadas del Grupo Pucará aunque algunas vetas importantes lo están en el complejo domo-diatrema Cerro de Pasco y en las filitas del Grupo Excelsior. Los cuerpos mineralizados se presentan básicamente en dos estilos: 1) Chimeneas de pirrotita asociada a esfalerita (marmatita) y galena y 2) Vetas y cuerpos irregulares de enargita zonados a esfalerita (blenda) y galena.

En la escala de tiempo las chimeneas de pirrotita se habrían formado en una etapa temprana depositándose pirrotita y esfalerita rica en hierro, galena, arsenopirita, acompañados de carbonatos, cuarzo y cloritas como ganga.

Las vetas y cuerpos irregulares zonados se formaron principalmente controladas por estructuras de rumbo E-W. Esta segunda etapa de mineralización de un modo muy similar al estilo Colquijirca consiste mineralógicamente de partes internas a partes externas de (Baumgartner et al, 2005): (i) enargita (luzonita-famatinita)-pirita-alunita-zunyita-cuarzo. (ii) tenantita-tetraedrita-pirita-calcopirita-estibnita- bismutinita  $\pm$  (matildita-cuprobismutinita)-hinsdalita-alunita-cuarzo y (iii) esfalerita pobre en Fe-hematita-magnetita-galena-alunita-cuarzo-diáspora-minerales del grupo de las APS (sulfatos y fosfatos de aluminio)-siderita-anckerita $\pm$ carbonatos con contenido de Zn.

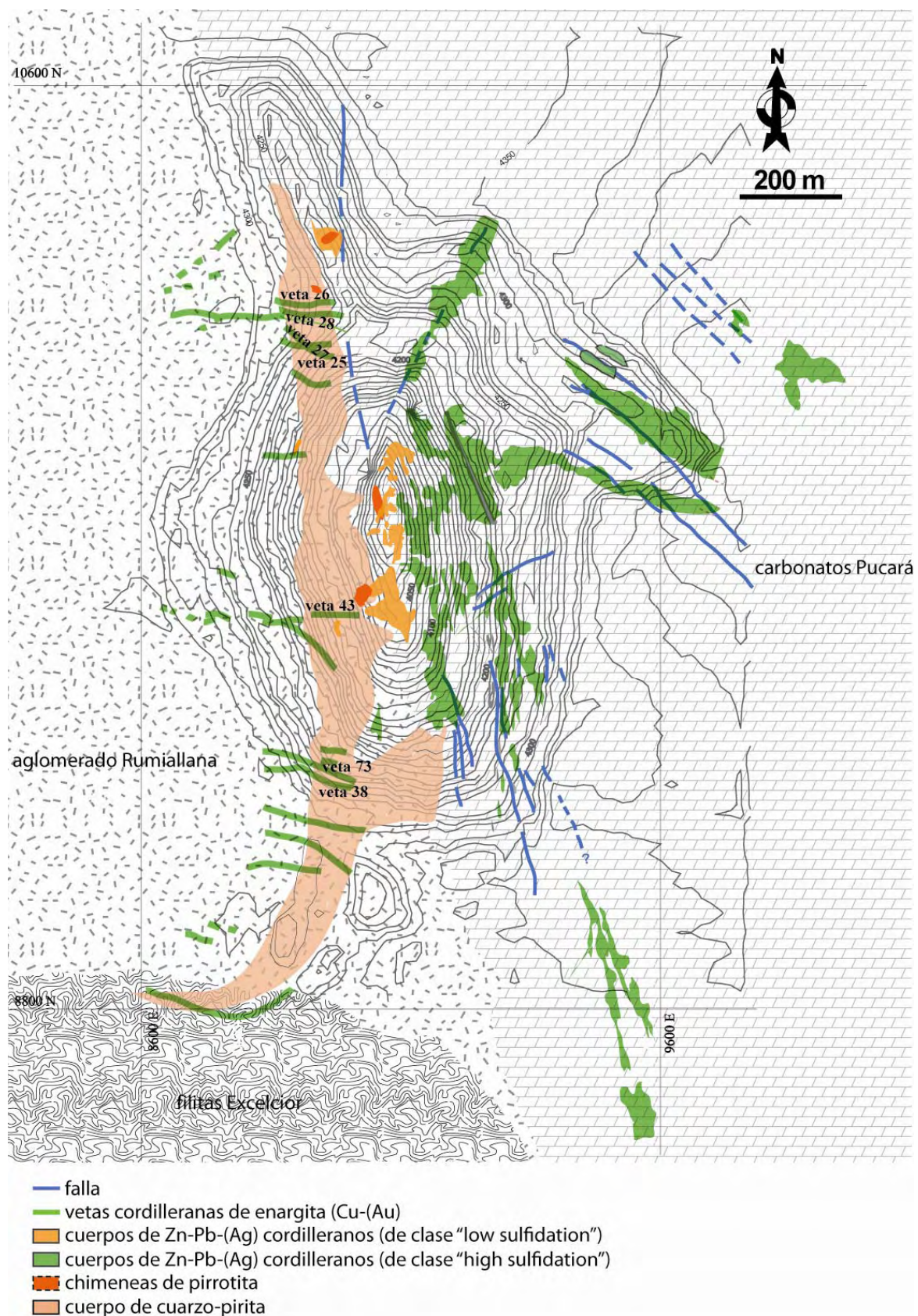


Figura 10: Mapa geológico de Cerro de Pasco. Ligeramente modificado de Baumgartner, 2007.

La mineralización epitermal de Au-(Ag) del tipo “high sulfidation” ha sido reconocida en la zona de Venenococha (Baumgartner, 2007). Al igual que en Marcapunta (distrito de Colquijirca) este tipo de mineralización epitermal se presenta como diseminaciones en óxidos asociados a alteración argílica avanzada principalmente cuarzo-alunita.

Es probable que la actividad intrusiva en el sector del proyecto polimetálico El Águila, unos 15 km al norte de Cerro de Pasco (Figura 2), corresponda al cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca. Como puede observarse en la Figura 2, el proyecto El Águila estaría controlado por la falla Longitudinal, la misma que controló el emplazamiento de los centros intrusivos y la mineralización asociada en los distritos de Cerro de Pasco y Colquijirca. Esta hipótesis tiene sustento adicional en el estilo de mineralización hidrotermal reconocido, i.e., menas polimetálicas con asociaciones mineralógicas típicas de alta sulfuración ([www.horizonteminerals.com](http://www.horizonteminerals.com), 2007), por lo tanto similar a aquel de Cerro de Pasco y Colquijirca.

**Tabla 1: Principales características de los tres cinturones magmático-hidrotermales Terciarios de la región de estudio en Pasco-Huánuco**

	<b>Cinturón Quicay-Pacoyán</b>	<b>Cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos</b>	<b>Cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca</b>
Edad de la actividad magmática / edad de los sistemas hidrotermales.	38-34 Ma	29-26 Ma	15-10 Ma
Principales tipos de mineralización	Vetas y cuerpos epitermales de Au-(Ag) de tipo “high sulfidation”	Cuerpos y vetas de Zn-Pb-Cu-(Ag) asociados a skarn, vetas y cuerpos epitermales de Zn-Pb-(Ag) sin asociación a skarn, pórfidos de Cu-(Au-Mo).	Mantos, vetas y otros cuerpos de Zn-Pb-Cu-(Au-Ag) epitermales de tipo cordillerano, vetas y cuerpos epitermales de Au-(Ag) de tipo “high sulfidation”
Principales yacimientos y ocurrencias	Quicay, Pacoyán	Milpo, Atacocha, Vinchos, La Quinua, Jogochuccho, Mal Paso, Chuquitambo	Cerro de Pasco, Colquijirca, San Gregorio, Marcapunta Norte, Marcapunta Oeste, Yanamate
Principales rocas magmáticas relacionadas	Domos andesíticos	Stocks granodioríticos, dioríticos	Domos y diatremas cuarzo monzoníticos, dacíticos
Roca caja	Rocas volcánicas eocénicas (complejo volcánico Quicay-Pacoyán)	Rocas carbonatadas paleozoicas y mesozoicas (Grupos Tarma-Copacabana, Pucará), areniscas mesozoicas (Grupo Goyllarisquizga), rocas metamórficas paleozoicas (Grupo Excelsior)	Rocas carbonatadas mesozoicas y cenozoicas (Grupo Pucará y Formación Calera), filitas (Grupo Excelsior), rocas volcánicas miocénicas (centros volcánicos Marcapunta y Cerro de Pasco)
Principales ensambles mineralógicos Sulfuros	py, en-cv	po-Fe-rich sl-ga po-py, apy, Fe-rich sl-ga, cpy-py	en-py, col-py, cc, cv, ten-py cpy-py, bo-py, Fe-poor sl-ga
Ganga y/o alteración hidrotermal	“vuggy quartz”, qz-alu, qz-prl, mnt, kao-qz, py-chl	calcosilicates ca-qz-ser ank-qz kao	qz-alu, zu-qz “vuggy-quartz” APS-qz kao-dic, sid-kao

Recursos geológicos minerales	< 1 Moz Au	50-100 Mt @ > 5% Zn, > 2% Pb, >2 oz/t Ag	50-200 Mt @ > 5% Zn, > 2% Pb, >2 oz/t Ag 50-100 Mt @ 1-2% Cu, 0.3-1 g/t Au < 1 Moz Au
Referencias	Staff Cia. Minera Chancadora Centauro	Ly 1975, Wilson 1975, Farfán 2006, Staff Cia. Minera Atacocha	Vidal 1984, Bendeزú 2004 y 2007, Baumgartner 2006.

---

py: pirita, po: pirrotita, Fe-rich sl: esfalerita rica en hierro, Fe-poor sl: esfalerita pobre en hierro, en: enargita, col: colusita, cc: calcosita, cv: covelita, ten: tenantita, cpy: calcopirita, bo: bornita, ga: galena, ca: calcita, qz: cuarzo, alu: alunita, prl: pirofilita, chl: clorita, mnt: montmorillonita, ser: sericita, ank: ankerita, dic: dickita, zu: zunyita, sid: siderita, APS: sulfatos y fosfatos de aluminio del grupo de la alunita.

---

## CAPITULO III

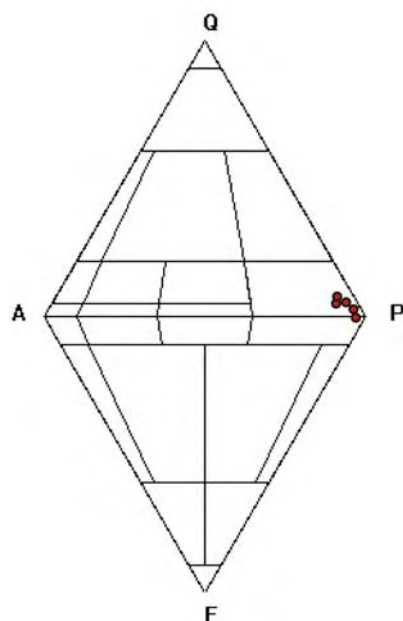
### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS MAGMÁTICAS

Una descripción petrográfica detallada de las muestras estudiadas en este trabajo es presentada al final en el apéndice 1. No obstante, a continuación se da un resumen generalizado de dichas observaciones.

#### **3.1.-Cinturón Quicay-Pacoyán**

En el cinturón Quicay-Pacoyán afloran “stocks” y centros volcánicos de composición generalmente dacítica y andesítica (i.e. Soler, 1988). Petrográficamente, las principales conclusiones de la petrografía presentada en este estudio son: i) Las muestras corresponden generalmente a rocas subvolcánicas y plutónicas con texturas principalmente del tipo porfirítica. ii) Los minerales siempre presentes son las plagioclasas y los piroxenos (Fig. 11). Además se pueden encontrar en menor proporción minerales opacos, vidrio, biotita y anfíboles (ver apéndice 1, Fig. 11). Las plagioclasas se encuentran frecuentemente zonadas y se distinguen por lo menos dos generaciones: una a manera de fenocristales libres de inclusiones y la otra a manera de fenocristales zonados con múltiples inclusiones vítreas particularmente hacia el centro de los granos. Probablemente este tipo de plagioclasas se habrían formado en una etapa temprana.

De acuerdo a un análisis modal estimado de las rocas estudiadas, estas corresponden a andesitas/basaltos (Diagrama QAPF; Streckeisen, 1973), lo cual es consistente con los análisis químicos presentados más adelante.



### 3.2.- *Cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos*

En el cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos las rocas magmáticas están representadas por stocks de composición granodiorítica a diorítica e incluso tonalítica (Fig. 12).

Las rocas del sector Milpo-Atacocha fueron hasta antes de 1984 caracterizadas en su conjunto como “dacitas porfiríticas” (i.e. Delgado, 1980). Posteriormente Gunnesch et al (1984, 1988) en base a estudios más detallados distingue los siguientes tipos de rocas magmáticas: 1) pórfidos dioríticos a hornblenda, 2) pórfidos dioríticos a hornblenda y biotita, 3) pórfidos cuarzdioríticos a hornblenda, 4) pórfidos cuarzdioríticos a biotita (con transiciones a tonalitas), 5) lamprófiros y 6) cuarzo dioritas microgranulares. Estas rocas se caracterizan por: i) poseer textura porfirítica típica, ii) las plagioclasas representan la fase mineral principal tanto a nivel de granos como en la matriz. Además, el mismo autor describe fenocristales de hornblenda biotita y cuarzo beta, y piroxenos (diópsido) en la matriz de monzodioritas; iii) en los monzogabros, dioritas y monzodioritas el anfíbol presente es una hornblenda marrón mientras que en las granodioritas es una hornblenda verde.

Los stocks en el sector de Vinchos han sido descritas como dioritas, granodioritas, tonalitas e incluso se ha mencionado un pórfido cuarcífero (Farfán, 2006). Las muestras del sector de Vinchos estudiadas en este trabajo corresponden a dos stocks dioríticos (ver más adelante) donde las plagioclasas son el mineral dominante y donde



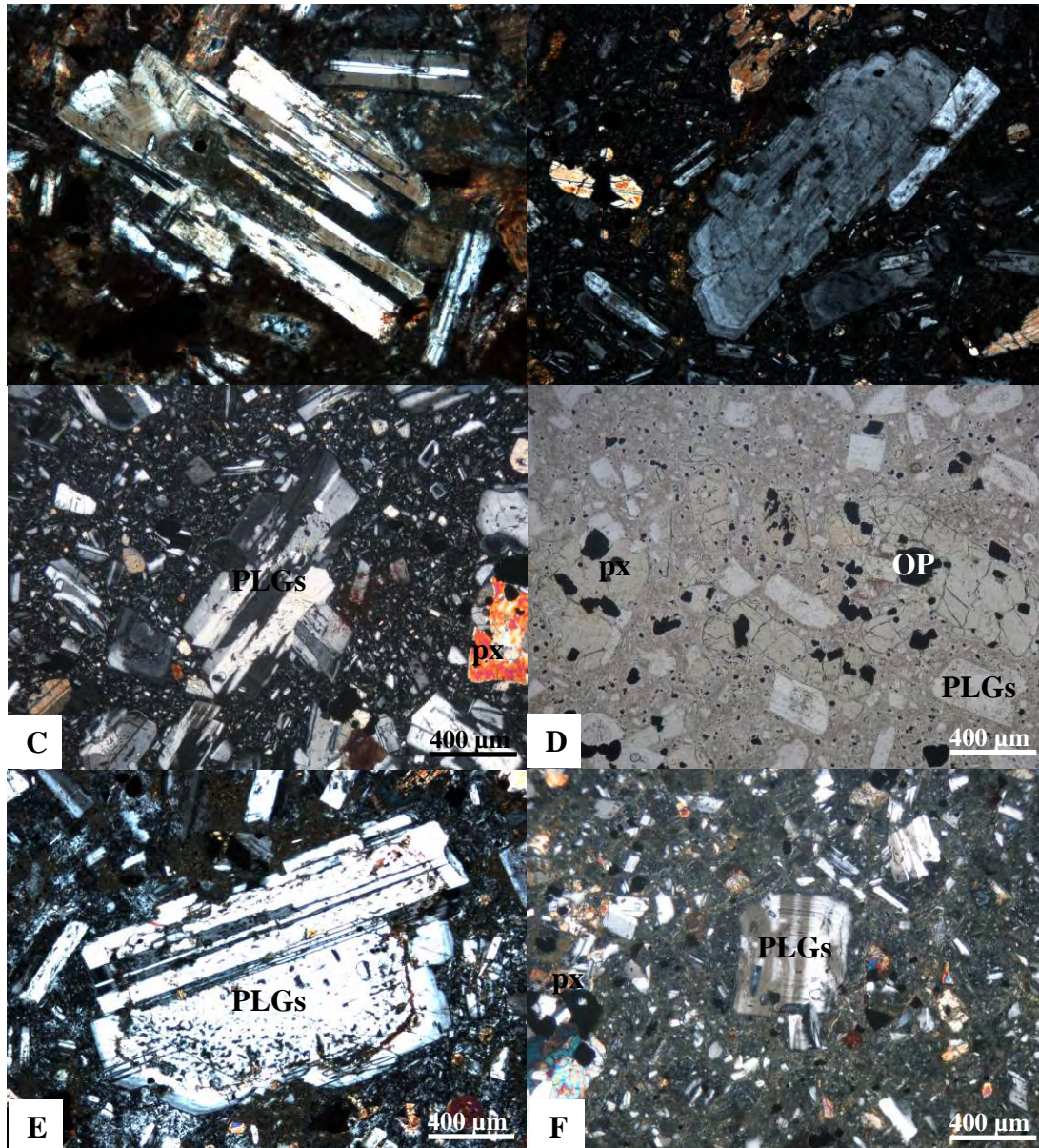


Figura 11. Imágenes típicas vía microscopia a luz polarizada de las rocas magmáticas del cinturón Quicay-Pacoyán. PLGs: plagioclasas, px: piroxeno, OP: mineral opaco.

- A. **Muestra RA-11078** Objetivo 5X Nícoles cruzados. Andesita porfirítica a piroxeno. Feno de plagioclasa zonada y maclada, acompañado de cristales de piroxenos y plagioclasas en una matriz criptocristalina.
- B. **Muestra QU-01** Objetivo 5X Nícoles cruzados. Andesita basáltica porfirítica a piroxeno. Fenocristal de plagioclasa zonada y maclada y piroxenos en una matriz compuesta por plagioclasa y piroxenos y opacos no determinados. Nótese el zonamiento bien desarrollado.
- C. **Muestra QU-02** Objetivo 5X Nícoles cruzados. Andesita porfirítica a piroxeno. Fenocristales de plagioclasas y piroxenos en una matriz compuesta también por plagioclasa y piroxenos. Nótese el maclado polisintético bien marcado.
- D. **Muestra QU-02** Objetivo 5X Nícoles paralelos. Andesita porfirítica a piroxeno. Fenocristales de plagioclasa piroxenos. Se observa además una considerable proporción de minerales opacos.
- E. **Muestra QU-03** Objetivo 5X Nícoles cruzados. Andesita porfirítica a piroxeno. Feno de plagioclasa con inclusiones de vidrio, cristales de piroxenos, opacos y escasa sericita en la matriz.
- F. **Muestra RA-11071** Objetivo 5X Nícoles cruzados. Andesita basáltica porfirítica a piroxeno. Feno de plagioclasa zonado y maclado, cristales de piroxenos, plagioclasas y granos de minerales opacos en una matriz de grano fino.

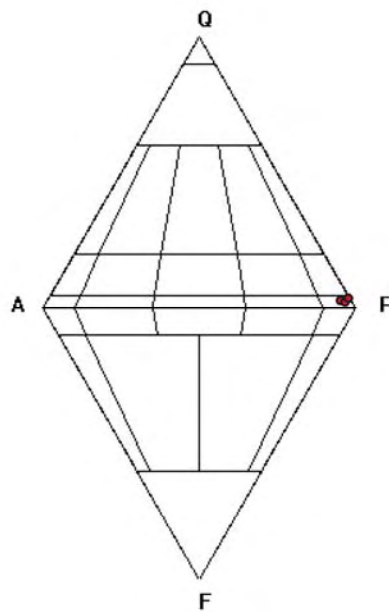


también están presentes piroxenos (orto y clinopiroxenos), biotita, feldespato potásico y cuarzo (ver apéndice 1).

Una de las muestras corresponde a una diorita porfirítica muy similar a las rocas descritas en sector Milpo-Atacocha. Otra muestra estudiada es una con textura fanerítica lo cual marca una diferencia con las rocas descritas por Gunnesch.

Otra muestra estudiada corresponde a un stock porfirítico cuarcífero el cual está compuesto en más del 90% por cuarzo, estando también presente muscovita. Ambos minerales presentan un grado de deformación intermedio (Fig. 12E), sugiriendo deformación por metamorfismo.

De acuerdo a un análisis modal estimado de las rocas estudiadas de Vinchos, éstas corresponden a diorita (Diagrama QAPF; Streckeisen, 1973). Los análisis geoquímicos de las muestras de Vinchos indican una composición diorítica, tonalítica y granodiorítica.



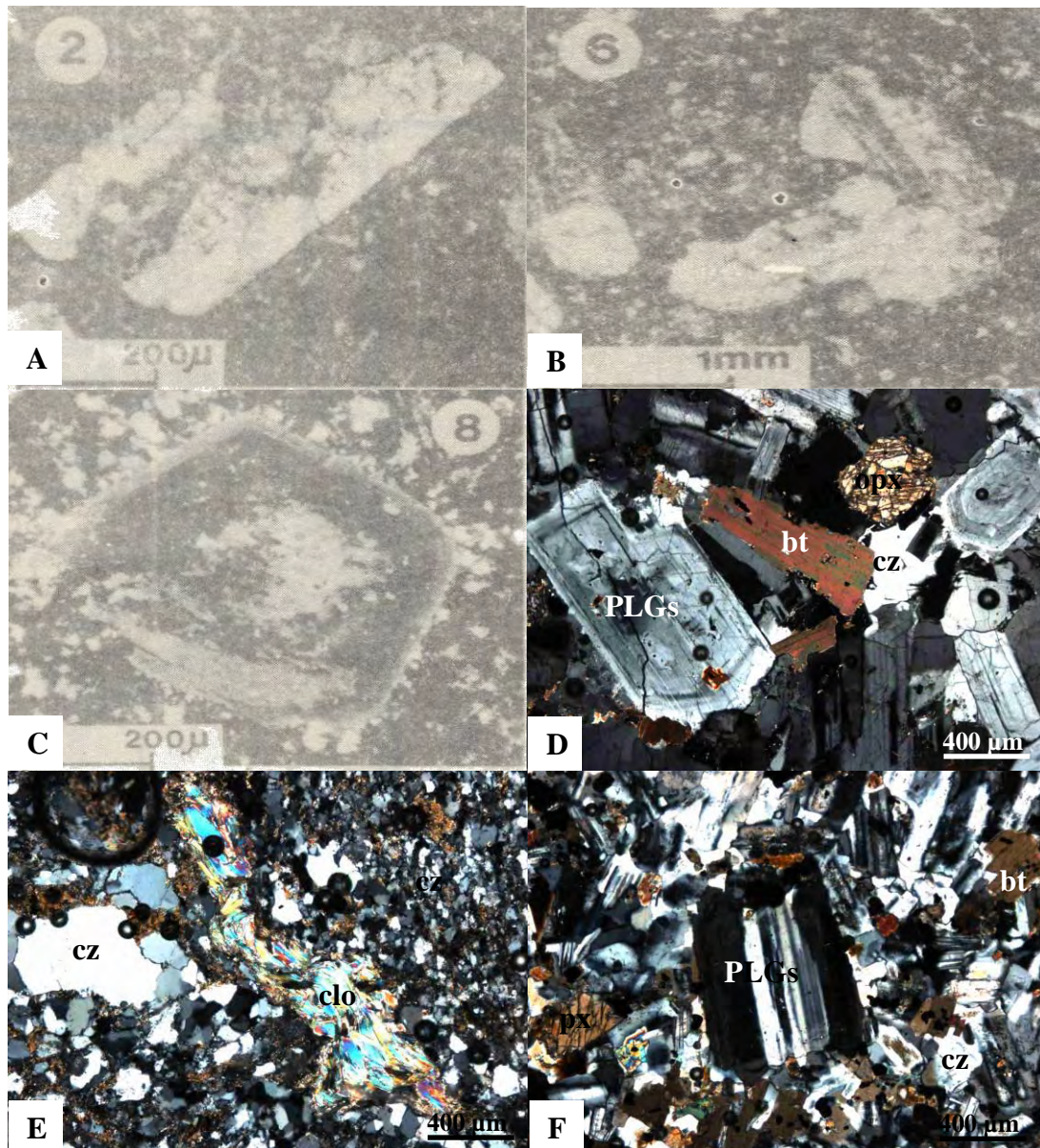


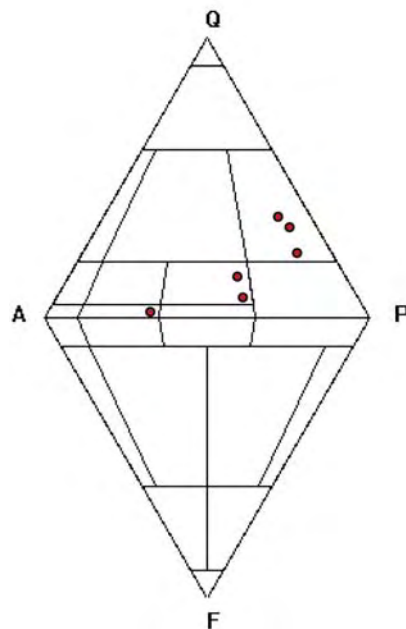
Figura 12. Imágenes típicas vía microscopia a luz polarizada de las rocas magmáticas del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos. PLGs: plagioclasas, px: piroxeno, opx: ortopiroxeno, bt: biotita, clo: clorita.

- A. Diorita. Feno de plagioclasa con inclusiones de feldespato potásico de textura “dendrítica”. (Gunnesch et al, 1988).
- B. Monzodiorita. Glomerocrystal de plagioclasa compuesto por fenos en contacto mutuo. (Gunnesch et al, 1988).
- C. Granodiorita. Feno de plagioclasa con un borde de feldespato potásico que podría indicar equilibrio entre el fenocrystal y la masa fundida de acuerdo a Gunnesch et al, 1988.
- D. **Muestra VI-01** Objetivo 5X, Nícoles cruzados. Diorita fanerítica a biotita y piroxeno. Granos de plagioclasas zonados y maclados, biotita, ortopiroxeno y cuarzo.
- E. **Muestra VI-02** Objetivo 5X, Nícoles cruzados. Pórfido cuarcífero. Grano de mica deformado rodeado de granos de cuarzo también deformados, además de arcillas.
- F. **Muestra VI-03** Objetivo 5X, Nícoles cruzados. Diorita porfirítica. Feno de plagioclasa rodeado por cristales de cuarzo, plagioclasa, biotita y piroxenos conformando una textura porfirítica.

### 3.3.- Cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca

Las rocas magmáticas del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca han sido caracterizadas en trabajos anteriores como dacitas, traquitas, traquidacitas, cuarzo monzonitas y cuarzo latitas (i.e. Vidal, 1984; Bendeزú, 2002; Baumgartner, 2007). En este trabajo, los estudios petrográficos han corroborado las observaciones descritas por estos autores incluyendo: i) Las muestras estudiadas corresponden mayormente a rocas volcánicas y subvolcánicas con texturas predominantemente del tipo porfirítica, y de manera subordinada afaníticas. ii) Los minerales observados en mayor proporción son cuarzo y plagioclasas, en menor porcentaje anfíboles, biotita y feldespato potásico (ver apéndice 1). Las plagioclasas presentan zonamiento múltiple libres de inclusiones de vidrio (Fig. 13).

De acuerdo a un análisis modal estimado de las rocas estudiadas, estas corresponden a dacitas (Diagrama QAPF; Streckeisen, 1973), lo cual es consistente con los análisis químicos presentados más adelante.





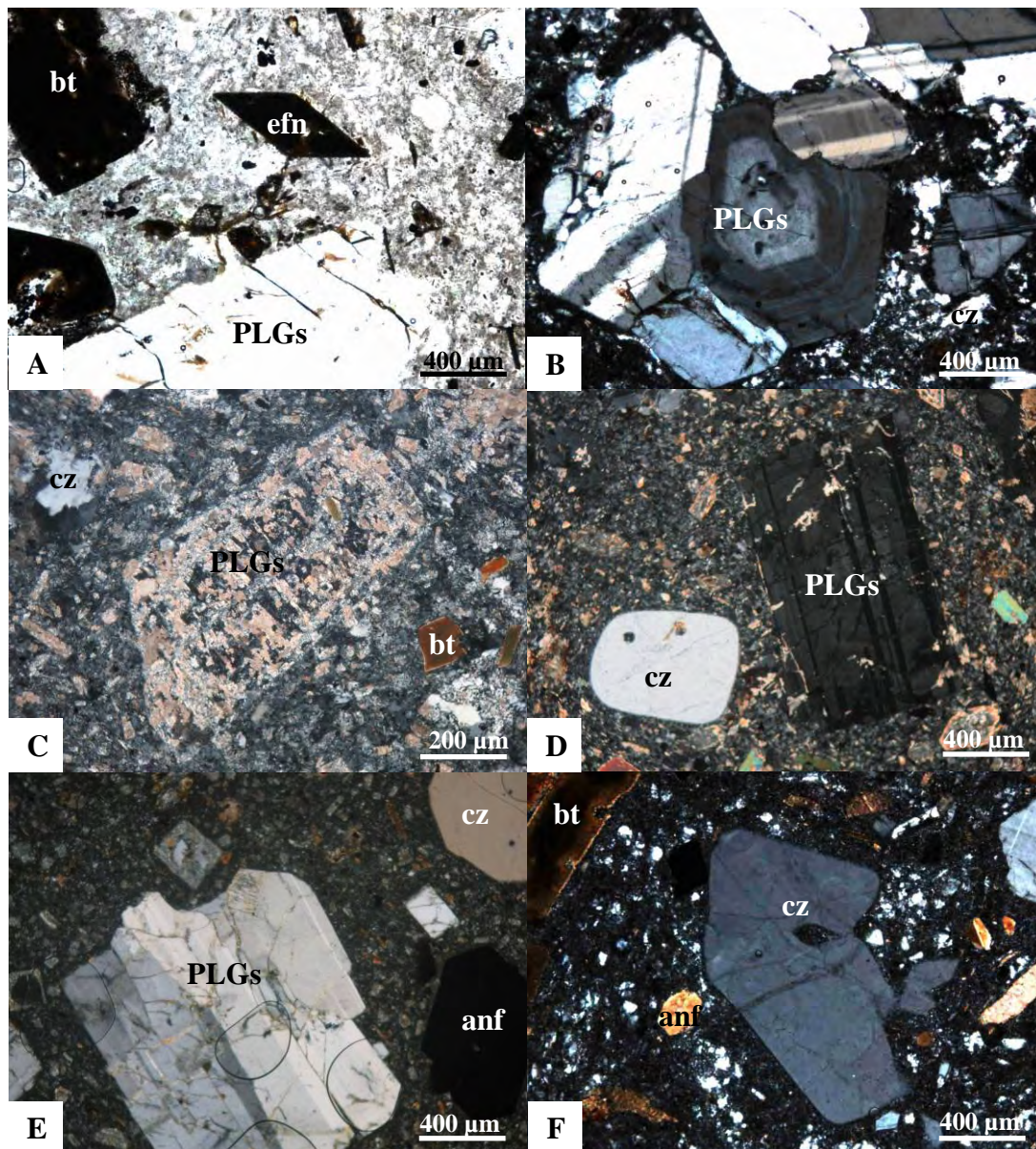


Figura 13. Imágenes típicas vía microscopía a luz polarizada de las rocas magmáticas del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca. PLGs: plagioclasas, cz: cuarzo, anf: anfíbol, bt: biotita, efn: esfena.

- A. **Muestra CP-01** Objetivo 5X, Nícoles cruzados. Toba dacítica. Fenocristales de plagioclasas, biotita y molde de esfena rodeados por una matriz criptocristalina.
- B. **Muestra CP-02** Objetivo 5X, Nícoles cruzados. Toba dacítica. Fenos de plagioclase algunos de los cuales están zonados y pequeños granos de cuarzo rodeados por la matriz.
- C. **Muestra CPR-472B** Objetivo 10X, Nícoles cruzados. Dique cuarzo-monzonítico. Feno de plagioclase alterada a carbonatos, granos de biotita y de cuarzo rodeados por la matriz.
- D. **Muestra CPR-604** Objetivo 5X, Nícoles cruzados. Dacita porfirítica a anfíboles. Feno de cuarzo magmático resorbido, feno de plagioclase, granos de biotita y moldes de ferromagnesianos alterados rodeados por una matriz microgranular.
- E. **Muestra PBR-148** Objetivo 5X, Nícoles cruzados. Dacita porfirítica a biotita. Fenos y granos de plagioclasas con finos vetilleos de arcillas, un feno de cuarzo magmático resorbido y un molde de probable hornblenda reemplazada casi totalmente por minerales opacos rodeados por una matriz de grano fino.
- F. **Muestra YA-02** Objetivo 5X Nícoles cruzados. Toba dacítica. Feno de cuarzo volcánico resorbido, anfíboles (hornblenda), biotita, cristales de cuarzo y opacos en una matriz granular muy fina.

## **CAPÍTULO IV**

### **QUÍMICA DE LAS ROCAS MAGMÁTICAS**

La actividad hidrotermal relacionada a los tres cinturones magmáticos de la región Pasco-Huanuco ha generado en la mayoría de los afloramientos reconocidos una alteración generalizada tanto en la roca caja como en la intrusión misma.

Debido a ello ha sido bastante difícil recolectar muestras desprovistas de alteración hidrotermal. Sin embargo, ha sido posible muestrear algunas zonas donde dicha alteración puede ser considerada como negligible (i.e., hasta un grado de alteración fílica leve). La litogeoquímica que se presenta a continuación fue obtenida exclusivamente de análisis químicos de estas rocas.

#### **4.1.-Química de las rocas magmáticas del cinturón Quicay-Pacoyán**

##### **4.1.1.-Elementos Mayores**

Las rocas del cinturón Quicay-Pacoyán analizadas para este estudio corresponden según el diagrama álcalis total versus sílice de Le Maitre et al (1989) a una composición andesítica basáltica a andesítica a incluso traquiandesítica basáltica (Tabla 2, Figura X).

Estas composiciones son coherentes con las observaciones microscópicas descritas más arriba.

Estas mismas muestras de acuerdo al diagrama  $K_2O$  versus  $SiO_2$  de Peccerillo y Taylor (1976) muestran una fuerte tendencia calco-alcalina rica en K y en CaO (Tabla 3, Figura X).

El contenido de elementos mayores es homogéneo en todas las muestras estudiadas. Estas rocas muestran mayoritariamente un contenido medio-bajo de sílice ( $<59\%$ ) y un alto contenido de  $Al_2O_3$  ( $>15\%$ ), MgO (1.87%-4.21 %) y CaO (5.76%-7.29 %) (Tabla 2).

*Tabla2: Composición en elementos mayores de algunas rocas magmáticas del cinturón Quicay-Pacoyán.*

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T)	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total
QU-01	57.190	15.890	7.660	0.153	2.730	6.820	2.660	2.590	1.080	0.270	2.786	99.830
QU-02	56.870	17.640	8.120	0.184	2.880	7.290	2.540	2.660	0.922	0.340	1.093	100.500
QU-03	58.450	16.260	7.200	0.151	2.760	6.190	2.970	2.660	0.957	0.300	2.009	99.910
RA-011084	48.220	16.660	10.530	0.156	4.210	7.150	2.110	2.740	1.416	0.300	5.584	99.080
RA-011075	58.950	15.930	7.610	0.130	1.870	5.760	2.590	2.520	0.977	0.320	2.777	99.430
RA-011078	53.460	17.740	7.840	0.123	2.290	6.260	2.620	3.890	1.111	0.370	3.879	99.590
RA-011071	55.250	16.120	6.490	0.181	2.290	6.220	2.090	2.150	0.789	0.340	6.605	98.530

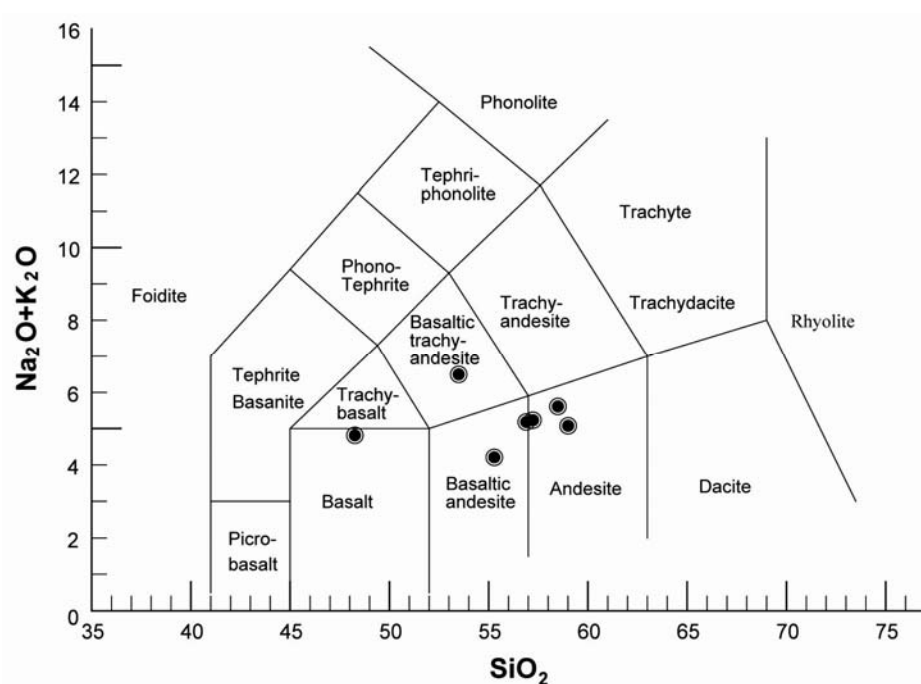


Figura 14: Composición de rocas volcánicas y subvolcánicas del cinturón Quicay-Pacoyán según el diagrama álcalis total versus sílice de Le Maitre et al (1989).

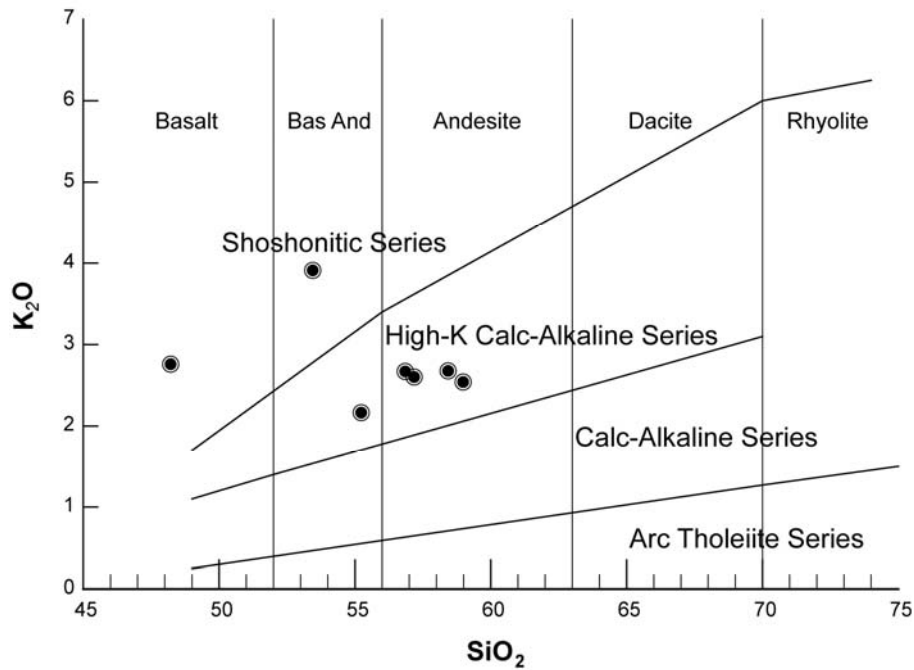


Figura 15: Composición de rocas volcánicas y subvolcánicas del cinturón Quicay-Pacoyán según el diagrama  $K_2O$  versus sílice de Peccerillo y Taylor (1976).

Dado que dos muestras presentan una leve alteración propilítica, las composiciones del conjunto de muestras fueron ploteadas sobre el diagrama de Winchester y Floyd (1977), un diagrama concebido para rocas relativamente alteradas. Según dicho diagrama las rocas muestran una composición análoga a las definidas según el diagrama de Le Maitre et al (1989).

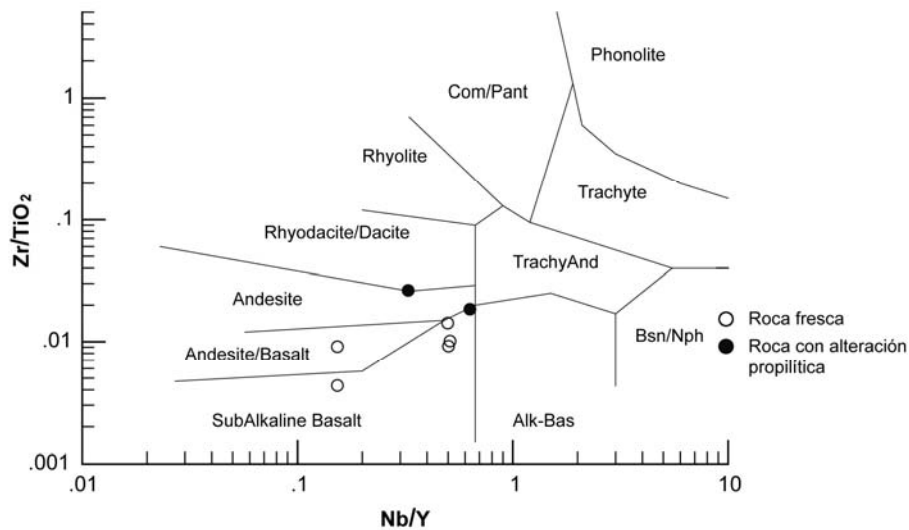


Figura 16: Composición de dos rocas volcánicas del cinturón Quicay-Pacoyán según el diagrama  $Zr/TiO_2$  versus  $Nb/Y$  de Winchester y Floyd (1977).

#### **4.1.2.-Elementos traza**

Las rocas magmáticas del cinturón Quicay-Pacoyán reconocidas en este estudio se caracterizan por presentar escasas concentraciones de Sr (396-585 ppm) (Tabla 3) y también por sus altas concentraciones de Y (26-38 ppm) (Tabla 3). Estos valores de Sr e Y resultan en coeficientes Sr/Y con valores entre 15 y 21 (Figura X).

#### **Contenido en tierras raras (rare earth elements “REE”)**

Las tierras raras (REE) se consideran entre los elementos trazas menos solubles y menos móviles en la mayoría de escenarios de metamorfismo, procesos hidrotermales y meteorización.

Del mismo modo, la evaluación del contenido en REE de rocas magmáticas es ampliamente usada sobretodo en la interpretación de procesos de fraccionamiento magmático.

En este trabajo, las concentraciones de tierras raras han sido normalizadas a los valores del condrito de Nakamura. Las rocas magmáticas del cinturón Quicay-Pacoyán muestran en conjunto una distribución regular y paralelismo (Figura X) sugiriendo un origen cogenético y comagmático para todas las muestras analizadas de este cinturón.

Una examinación de los valores obtenidos permiten distinguirse un ligero fraccionamiento de las REE ligeras con respecto a las REE pesadas con ratios  $La_N/Yb_N$  que fluctúan entre ~3-8.

Es también resaltante la ausencia de anomalías de Europio en las muestras de este cinturón.



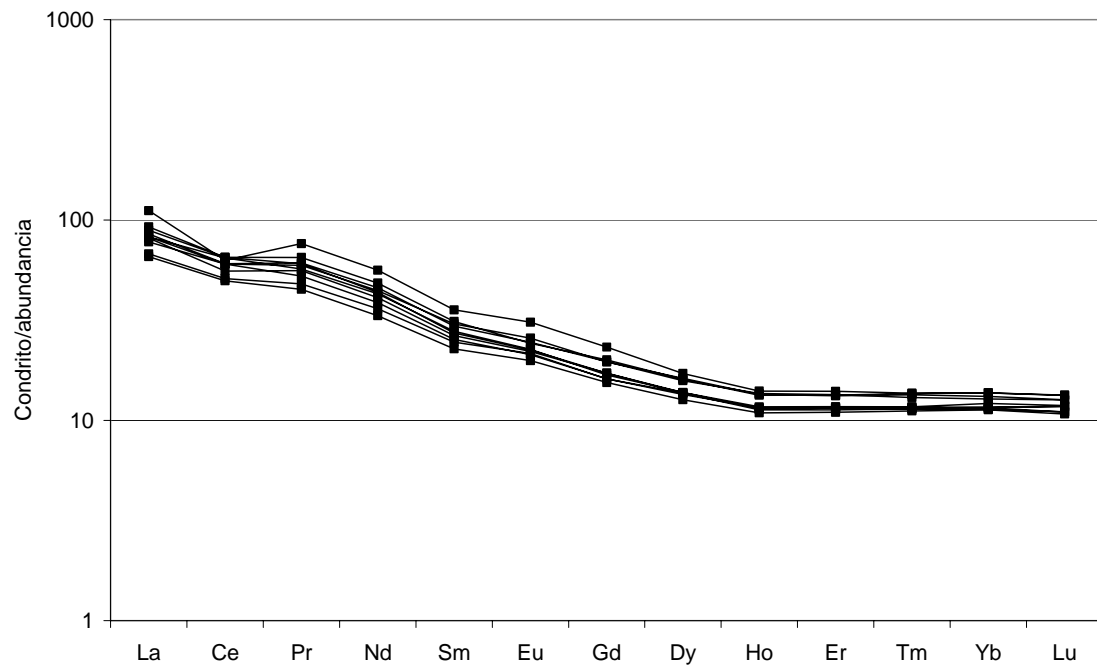


Figura 17: Abundancia de REE de las rocas magmáticas del cinturón Quicay-Pacoyán normalizadas al condrito de Nakamura (en Potts et al, 1981).

*Tabla 3: Composición en elementos traza de algunas rocas magmáticas del cinturón Quicay-Pacoyán.*

<b>Muestra</b>	<b>La</b>	<b>Ce</b>	<b>Pr</b>	<b>Nd</b>	<b>Sm</b>	<b>Eu</b>	<b>Gd</b>	<b>Tb</b>	<b>Dy</b>	<b>Ho</b>	<b>Er</b>	<b>Tm</b>	<b>Yb</b>	<b>Lu</b>	<b>Sr</b>	<b>Y</b>	<b>Zr</b>	<b>Nb</b>
QU01	21.600	43.000	5.550	21.000	4.620	1.530	4.260	0.730	4.350	0.850	2.470	0.379	2.480	0.366	493.000	27.400	112.000	10.800
QU02	27.100	55.900	7.000	27.000	5.650	1.740	4.650	0.800	4.730	0.890	2.590	0.396	2.560	0.400	585.000	27.000	119.000	10.600
QU03	25.600	52.200	6.470	24.400	5.140	1.640	4.450	0.780	4.620	0.900	2.610	0.391	2.550	0.398	504.000	25.800	134.000	11.400
RA-011134	22.300	44.100	5.910	22.700	4.990	1.660	4.440	0.780	4.700	0.900	2.600	0.387	2.500	0.375	396.000	26.000	122.000	10.100
RA-011142	29.200	56.300	7.440	27.400	5.530	1.730	4.750	0.810	4.720	0.910	2.630	0.397	2.670	0.403	486.000	28.900	150.000	11.500
RA-011089	28.000	52.300	7.520	28.900	5.990	1.890	5.410	0.920	5.410	1.060	3.020	0.442	2.810	0.430	544.000	33.100	149.000	11.000
RA-011069	36.600	54.300	9.380	35.400	7.220	2.380	6.400	1.020	5.880	1.090	3.140	0.465	3.020	0.455	491.000	32.400	146.000	10.900
RA-011084	19.300	37.500	6.430	27.100	6.480	2.210	6.250	1.110	6.770	1.290	3.780	0.562	3.700	0.567	466.000	38.600	101.000	8.400
RA-011075	26.700	48.100	6.880	25.800	5.380	1.700	4.750	0.790	4.690	0.880	2.540	0.388	2.540	0.374	507.000	26.400	121.000	10.500
RA-011078	27.100	52.200	7.310	28.000	6.150	1.980	5.400	0.930	5.560	1.050	2.980	0.456	2.900	0.431	507.000	31.500	120.000	9.500
RA-011071	30.400	56.400	8.000	30.500	6.320	1.870	5.530	0.920	5.490	1.040	3.010	0.463	3.020	0.453	507.000	31.800	139.000	10.100

## 4.2.-Química de las rocas magmáticas del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos

### 4.2.1.-Elementos mayores

Los resultados de los análisis químicos de las rocas del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos obtenidos para este trabajo indican según el diagrama álcalis total versus sílice de Le Maitre et al (1989) una composición andesítica, traquiandesítica, traquítica hasta dacítica (Tabla 4, Figura X). Estas composiciones son coherentes con las observaciones microscópicas descritas más arriba (capítulo 3.2)

La mayoría de las muestras de este cinturón estudiadas por Gunnesch (1984) de acuerdo al diagrama  $K_2O$  versus  $SiO_2$  de Peccerillo y Taylor (1976) muestran una tendencia calco-alkalina rica en K (Tabla 4, Fig X) y en menor medida en CaO (Tabla X).

El contenido de elementos mayores es heterogéneo en las muestras estudiadas por dicho autor. Estas rocas muestran, mayoritariamente, un contenido medio de sílice (48%-63%) y un contenido medio-alto de  $Al_2O_3$  (13.9%-16.9%). Por otro lado los contenidos de MgO y de CaO son considerablemente variables (0.82%-5.72 % y 2.63%-7.71 % respectivamente) (Tabla 4).

*Tabla 4: Composición en elementos mayores de algunas rocas magmáticas\* del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos.*

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T)	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total
AM-2	57.94	15.56	5.62	0.1	2.91	4.42	2.27	3.72	0.81	0.31	4.88	99.28
AM-9	58.86	14.85	6.15	0.14	3.46	5.85	1.77	2.81	0.87	0.39	3.63	99.3
Ma-12	48.38	13.94	9.06	9.19	5.72	7.71	2.76	3.29	2.23	1.23	4.88	99.49
46	63.32	14.84	2.83	0.04	1.9	5.66	2.2	4.73	0.61	0.27	2.63	99.33
61	58.96	15.82	5.68	0.21	5.32	1.84	3.66	0.32	0.83	0.51	3.63	99.48
M-91	59.54	15.65	5.91	0.11	2.51	3.81	2.19	4.46	0.81	0.33	3.85	99.3
152	59.49	15.51	5.03	0.1	2.42	4.52	2.05	3.74	0.84	0.29	4.75	99.25
172	62.58	15.52	5.7	0.11	1.71	3.37	2.21	4.26	0.7	0.3	2.38	98.93
Ma-2	54.95	15.33	5.27	0.19	4.46	6.83	0.71	7.4	1.27	0.52	2.38	99.43
A-4	59.34	14.71	1.88	0.16	0.82	6.44	0.98	7.97	0.55	0.25	4.88	99.28
201	63.05	15.46	1.15	0.06	1.73	5.31	1.28	9.01	0.62	0.27	1.25	99.29
225	60.84	16.85	2.95	0.09	0.85	2.63	0.96	9.52	0.98	0.44	3.00	99.18

\*Valores tomados de Gunnesch. 1984.

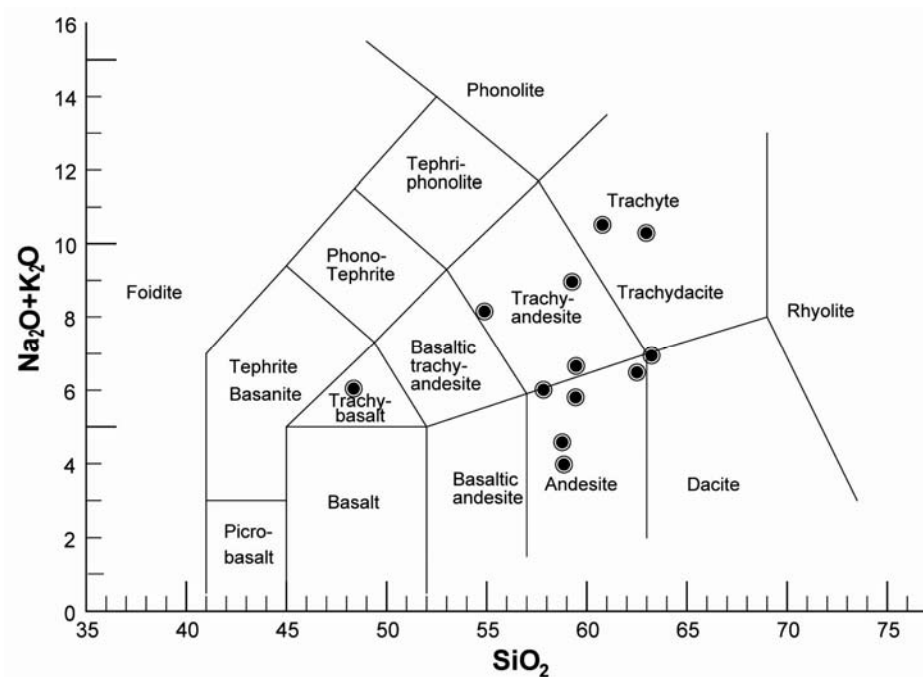


Figura 18: Composición de rocas volcánicas y subvolcánicas\* del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos según el diagrama álcalis total versus sílice de Le Maitre et al (1989).

\*En gran parte valores tomados de Gunnesch. 1984.

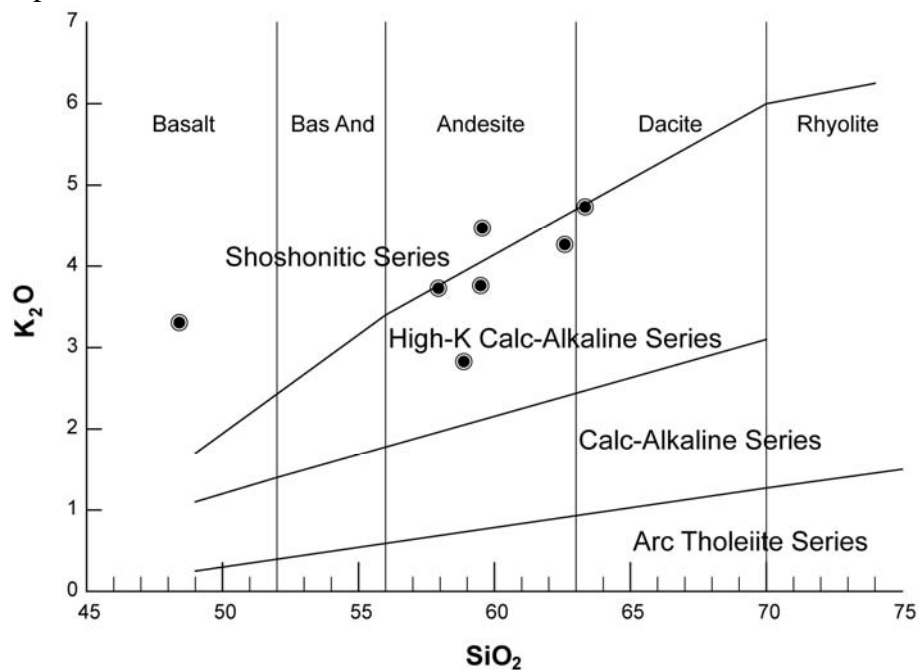


Figura 19: Composición de rocas volcánicas y subvolcánicas\* del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos según el diagrama  $K_2O$  versus sílice de Peccerillo y Taylor (1976).

\*Valores tomados de Gunnesch. 1984.

#### 4.2.2.-Elementos traza

A nivel de elementos traza las características más importantes de las rocas magmáticas del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos reconocidas en este estudio son las moderadas concentraciones de Sr (468-681 ppm) (Tabla5) y las también moderadas concentraciones de Y (16.6-28 ppm) (Tabla 5). Estos valores de Sr e Y resultan en coeficientes Sr/Y con valores entre 21 y 41 (Figura X).

#### Contenido en tierras raras (REE)

Las concentraciones de tierras raras han sido normalizadas a los valores del condrito de Nakamura (1974). Las rocas magmáticas del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos reconocidas en este estudio muestran una distribución regular además de un claro paralelismo (Figura X) sugestivo de un origen cogenético y comagmático para las muestras de este cinturón.

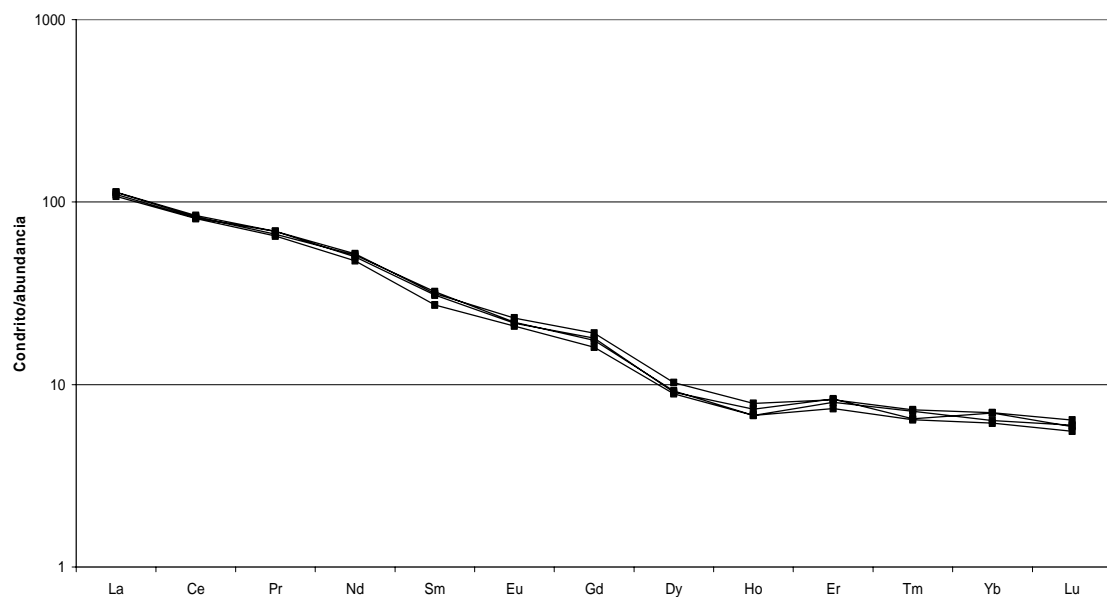


Figura 20: Abundancia de REE de las rocas del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos normalizadas al condrito de Nakamura (en Potts et al. 1981).

*Tabla 5: Composición en elementos traza de algunas rocas magmáticas del cinturón Milpo-Atacocha-Vinchos.*

<b>Muestra</b>	<b>La</b>	<b>Ce</b>	<b>Pr</b>	<b>Nd</b>	<b>Sm</b>	<b>Eu</b>	<b>Gd</b>	<b>Tb</b>	<b>Dy</b>	<b>Ho</b>	<b>Er</b>	<b>Tm</b>	<b>Yb</b>	<b>Lu</b>	<b>Sr</b>	<b>Y</b>	<b>Zr</b>	<b>Nb</b>
PEVII	35.366	70.148	8.006	30.072	5.541	1.612	4.420	0.630	3.059	0.528	1.661	0.218	1.350	0.189	680.697	16.552	202.969	19.412
PEVI2	37.370	72.983	8.487	32.798	6.391	1.783	5.278	0.743	3.512	0.615	1.859	0.247	1.542	0.217	658.305	19.995	215.336	17.453
AM-2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	572.000	22	161	-
AM-9*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	614.000	26	164	-
Ma-12*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	468.000	28	180	-
46*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	643.000	19	163	-
61*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	571.000	26	177	-
M-91*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	655.000	25	174	-
152*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	510.000	20	177	-
172*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	630.000	22	171	-

Valores tomados de Gunnesch. 1984.

### 4.3.-Química de las rocas magmáticas del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca

#### 4.3.1.-Elementos Mayores

Los resultados de los análisis químicos de las rocas del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca analizados para este trabajo corresponden según el diagrama álcalis total versus sílice de Le Maitre et al (1989) a una composición dacítica a traquidacítica (Tabla 6, Figura X). Estas composiciones son consistentes con las observaciones microscópicas descritas más arriba.

Estas mismas muestras de acuerdo al diagrama  $K_2O$  versus  $SiO_2$  de Peccerillo y Taylor (1976) muestran una marcada tendencia calco-alcalina rica en K y en  $Na_2O$  (Tabla 6, Figura X).

El contenido de elementos mayores es prácticamente homogéneo en las muestras estudiadas. Estas rocas muestran, en su mayoría, un contenido alto de sílice ( $>63.5\%$ ) y de  $Al_2O_3$  ( $>14.5\%$ ), mientras que los contenidos de  $MgO$  ( $0.6-1.8\%$ ) y  $CaO$  ( $1.16-3.7\%$ ) son bajos (Tabla 6).

*Tabla 6: Composición en elementos mayores de algunas rocas magmáticas del cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca.*

Muestra	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3(T)$	MnO	MgO	CaO	$Na_2O$	$K_2O$	$TiO_2$	$P_2O_5$	LOI	Total
CP-01	65,160	16,190	3,300	0,034	0,600	2,550	4,130	3,970	0,723	0,350	1,762	98,780
CP-02	68,520	14,860	2,910	0,045	0,680	2,520	3,900	3,440	0,656	0,360	2,046	99,940
CPR 472	65,300	14,870	2,800	0,130	1,070	2,870	0,710	6,930	0,640	0,270	4,210	99,690
CPR 602	64,434	15,749	5,240	0,105	1,208	1,721	2,206	3,157	0,723	0,266	4,880	99,690
CPR 603	64,893	15,246	3,352	0,067	1,666	3,159	3,997	3,053	0,761	0,337	3,700	100,230
CPR 604	64,063	15,467	3,869	0,058	1,809	3,792	3,436	3,147	0,789	0,308	3,770	100,510
PBR148	67,000	15,510	4,510	0,080	0,900	1,930	3,110	3,090	0,740	0,270	2,140	99,280
PBR185C	65,590	17,720	3,470	0,020	0,730	1,160	2,960	4,060	0,920	0,360	3,030	100,020
PBR 216	67,150	15,350	3,510	0,040	1,250	2,660	4,150	3,450	0,720	0,610	1,090	99,980
PBR 216A	66,970	15,229	3,540	0,040	1,246	2,660	3,758	3,422	0,722	0,593	1,100	99,280
YA-02	66,860	15,720	3,140	0,038	1,270	2,980	4,050	3,790	0,749	0,400	1,423	100,400
YA-04	63,670	15,750	4,060	0,049	1,520	3,190	4,010	3,360	0,839	0,430	1,830	98,700